



Universidad de Valladolid

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

INSTITUTO DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE LA PRODUCCIÓN (ITAP)

TESIS DOCTORAL:

TÍTULO

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE ALMAZARA
MEDIANTE COMBINACIÓN DE PROCESOS FÍSICO-QUÍMICOS.**

Presentada por D. ÁNGEL CALVO FERNÁNDEZ
para optar al grado de doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por los profesores:
Dr. GREGORIO ANTOLÍN GIRALDO
Dra. M^a ÁNGELES PÉREZ RUEDA

A la memoria de mi padre.

AGRADECIMIENTOS.

Más vale tarde que nunca. Refrán válido para muchas situaciones de la vida y que en este caso *viene como anillo al dedo.* Después de muchos años peleando con los equipos para que las plantas de tratamiento de residuos de almazaras funcionaran correctamente, por fin se plasma toda esa experiencia en un trabajo de tesis doctoral. Son muchas las personas y organismos a las que debo gratitud.

En primer lugar, quisiera agradecer al Ministerio de Medioambiente de España la subvención concedida para la construcción de la planta piloto móvil y de la planta industrial de demostración dentro del programa PITMA. Del mismo modo, agradecer a la Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio, de la Junta de Castilla y León, la subvención concedida a la construcción de la planta industrial de demostración dentro del plan de Protección Medioambiental. No me olvido en mis agradecimientos de la Comisión Europea de Medioambiente por la concesión del proyecto LIFE 05 ENV/E/000292 OLIVEWASTE para la construcción de la planta de demostración para el tratamiento de todos los residuos de almazara.

Deseo expresar mi más profunda gratitud a mis directores de tesis, Gregorio Antolín Giraldo y M^a Ángeles Pérez Rueda, Profesores de la UVa, por la ayuda y apoyo que en todo momento me han brindado, por su paciencia sin límites conmigo y porque sin su dedicación y esfuerzo esta tesis doctoral no hubiera sido posible.

A los “jefes” de esta aventura investigadora, Profesores de la UVa Antonio Lara Feria y José Ramón Perán González, quiero agradecerles el que contaran conmigo para realizar esta locura.

A la empresa TRAINALBA, S.L, o lo que es lo mismo, a todos los pequeños accionistas que, con entusiasmo, apostaron por esta tecnología de vanguardia, agradecerles que no se rindieran pese a las múltiples adversidades por las que se pasó.

Al Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medioambiente de la UVa, con quién empecé el doctorado y al ITAP como Organismo con quién lo terminé. A los miembros del Instituto Universitario ITAP quiero agradecerles su apoyo y preocupación por la marcha de la parte final de esta tesis, así como la colaboración en los trámites necesarios para la presentación de la misma.

Al personal investigador de la Fundación CARTIF (Loli, Paco, Jorge, Carlos, Elena, Paloma, Laritza, Toño, Mónica, Félix, Enrique y alguno más que se me olvidará), por su colaboración y predisposición para ayudarme en todos los aspectos en que me hizo falta.

No quiero olvidarme de los primeros “sufridores”, como miembros o colaboradores de Fundación CARTIF; que colaboraron en los proyectos de investigación relacionados con los residuos de almazara (Eloy, Marta, Blanca, Cristina, David, Jesús, José Luis, Carmen y otra vez alguno que se me olvide).

Agradecimientos.

Cuantas veces me han preguntado ¿Cómo lo llevas? los miembros del Departamento CMEIM, EGI, ICGyF, IM e IPF. Muchas gracias por vuestra preocupación.

Mi agradecimiento más especial es para mi familia, fundamentalmente a Pilar y a mi madre que me han aguantado los días de morros largos con perseverancia y alegría, a mis hermanos por su preocupación e interés, y al resto por su apoyo.

RESUMEN.

Esta tesis se centra en el estudio de la gestión sostenible de los residuos del sector de las almazaras de producción de aceite virgen de oliva, mediante un método capaz de utilizar la viabilidad técnica y económica.

Se ha de tener en cuenta que uno de los propósitos más buscados en la actualidad es la utilización racional del agua, recurso cada vez más escaso, lo que lleva a la necesidad de un uso adecuado y en los casos en que sea posible, su reciclaje. En la industria oleícola existen tres procesos de obtención de aceite de oliva virgen: prensas, centrifugación en tres fases y centrifugación en dos fases. Hasta que se implantó el sistema de centrifugación en dos fases, el residuo líquido generado denominado alpechín, era uno de los residuos más contaminantes del medio acuático, debido sobre todo a su alto contenido en materia orgánica. La mayoría de procesos de depuración que se propusieron para disminuir el impacto ambiental del alpechín, no permitían la recuperación del agua utilizada en el proceso de extracción de aceite de oliva virgen. La aparición del sistema de centrifugación en dos fases trasladó el problema medioambiental de los residuos líquidos al residuo sólido (alperujo), que a diferencia del orujo obtenido en el sistema de centrifugación de tres fases, presenta serias complicaciones para su transporte y su aprovechamiento.

Objetivos.

Dada la evolución tecnológica producida en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen, en esta tesis se ha buscado como objetivo fundamental, la reducción del impacto medioambiental de los residuos generados en los sistemas tecnológicos utilizados. Se ha planteado la posibilidad de complementar las tecnologías de dos y tres fases mediante etapas complementarias a los procesos de extracción del aceite que les convierten en procesos de Desarrollo Sostenible, al lograr convertir sus residuos en subproductos, que pueden ser aplicados en la propia actividad agrícola y/o industrial.

Metodología.

En primer lugar, se procedió a realizar un estudio de los diferentes métodos de depuración de alpechín para determinar el proceso más adecuado. Una vez elegido el proceso (tratamiento físico-químico seguido de una posterior evaporación) se constató que era fundamental la separación de los sólidos suspendidos presentes en el alpechín. Se realizaron ensayos a escala laboratorio con distintos agentes de separación acelerada de sólidos (coagulantes y floculantes comerciales) que permitieran la obtención de un líquido coloreado pero libre de sólidos suspendidos. También se estudió la aglomeración y coagulación del alpechín, utilizando la tecnología de ultrasonidos.

Una vez seleccionado el agente de separación acelerada de sólidos más adecuado, se procedió al diseño, construcción y puesta en marcha de una planta piloto móvil sobre la plataforma de un camión tráiler, para la depuración y aprovechamiento integral de alpechines, de 130 kg/h de capacidad, en la que por necesidades de espacio, el aporte de energía térmica se realiza con una caldera de gasoil de 100.000 kcal/h de potencia.

A la vista de los excelentes resultados obtenidos en los ensayos realizados en la planta móvil, se desarrolló un proyecto en colaboración con la cooperativa Comunal Sotoserrano, Sociedad Cooperativa situada en Sotoserrano (SALAMANCA), que posee una almazara que utiliza el sistema de tres fases. Se procedió al diseño y posterior construcción de una planta industrial para el tratamiento integral de alpechines, capaz de tratar los residuos generados por dicha almazara que moltura 50.000 kg/día.

La implantación del sistema de molturación en dos fases en la mayoría de las almazaras españolas, conllevó a una disminución en el vertido de residuos líquidos. Sin embargo, las propiedades del orujo de dos fases (alperujo) introdujeron dificultades que hicieron recalificar los problemas de los residuos generados en las almazaras, considerando el residuo sólido como el principal de la industria de obtención de aceite de oliva virgen.

En esta línea y con el fin de completar este trabajo de investigación, se diseñó y construyó una planta para el tratamiento integral y valoración de residuos generados en las almazaras que utilizan el sistema de dos fases (alperujo y aguas de lavado), procediendo en primer lugar a realizar un remolido del alperujo en un decánter de tres fases donde se recupera parte del aceite retenido en el alperujo. A continuación, el alpechín producido en el remolido se pasa a la planta de tratamiento de residuos líquidos con lo que se consigue eliminar cualquier vertido contaminante.

Resultados.

De la investigación realizada se ha concluido que el proceso más apropiado para el tratamiento integral del alpechín es el que combina procesos físico-químicos y térmicos. Con el fin de evitar los problemas que presentan los sistemas de evaporación estudiados, se realiza un acondicionamiento del alpechín a base de tratamientos físico-químicos, y seguidamente se procede a su evaporación.

A través de la información obtenida en ensayos de laboratorio de separación acelerada de sólidos, se deduce que el floculante ZETAG-50 es el que mejores resultados ofrece. Además, se ha comprobado que la utilización de técnicas de ultrasonidos no aporta una disminución significativa en el consumo de floculante.

Se realizaron múltiples ensayos en la planta móvil con alpechín procedente de distintas zonas oleícolas, obteniéndose como subproductos del alpechín, agua que se puede utilizar para riego, y fango de alpechín (materia prima para compostaje).

En la planta industrial de Sotoserrano, a parte del agua para riego y el fango de alpechín para compostaje, se recupera parte del aceite ocluido en el alpechín. La utilización de una caldera mixta como fuente de energía térmica, que utiliza gasoil en la etapa de arranque, para posteriormente utilizar como combustible el orujo de tres fases que se genera en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen en la propia almazara, permite rentabilizar el proceso de tratamiento integral.

Se verifica que la planta de demostración construida en Baena es capaz de tratar todos los residuos que se generan en una almazara tipo. El secado mecánico del alperujo permite recuperar parte del aceite retenido en el mismo y obtener orujo de tres fases. El alpechín generado aumenta el volumen de residuos líquidos, que son conducidos a la etapa de tratamiento de alpechines, obteniéndose como resultado final los mismos subproductos que en la planta de Sotoserrano.

Conclusiones.

El trabajo de tesis presentado pone de manifiesto que el sistema propuesto de tratamiento integral y de valorización de los residuos generados en una almazara, es capaz de complementar los sistemas de obtención de aceite de oliva virgen de 2 y 3 fases, logrando convertir los residuos generados (sólidos y líquidos) en subproductos.

El floculante que mejores resultados ofrece para ser utilizado con alpechín es el ZETAG-50, con una concentración más favorable de 700 ppm.

La neutralización previa del alpechín, aun disminuyendo el consumo de floculante, no produce flóculos suficientemente estables para que el proceso de filtración se lleve a cabo en filtro prensa. El tamaño del flóculo formado es pequeño y dificulta la filtración por el taponamiento de las telas de filtración. La adición de sulfato de aluminio como coagulante tampoco ofrece los resultados esperados a partir de las pruebas de laboratorio.

La implantación a nivel industrial del proceso de separación de sólidos utilizando técnicas de ultrasonidos no es recomendable por varios motivos: el ahorro en reactivos químicos no compensa el coste económico del sistema, las dificultades técnicas del mismo y la incertidumbre de su funcionamiento a escala industrial.

El diseño del evaporador de la planta de Sotoserrano garantiza períodos de funcionamiento sin paradas de al menos 1.500 h. Dado que la almazara funciona unos 50 días al año, la limpieza del equipo sólo sería necesaria una vez por campaña, aprovechando las etapas de inactividad de la almazara.

La separación acelerada de sólidos del alpechín, antes de introducirlo en el evaporador, implica que no sean necesarias altas temperaturas de evaporación, permitiendo al equipo de Sotoserrano operar a presión atmosférica.

La energía del vapor generado en el proceso de depuración en la planta de Sotoserrano se utiliza, además de para precalentar el alpechín sin sólidos procedente de la separación acelerada, para otras necesidades y servicios energéticos de la almazara. Para garantizar la rentabilidad económica de la planta, es necesario encontrar salida al exceso de vapor generado.

El sistema de tratamiento integral de alpechín, permite recuperar agua condensada, parte del aceite ocluido en el alpechín y fango de alpechín con el que se puede producir compostaje.

La versatilidad de la planta de demostración construida en Baena permite tratar todos los residuos que se generan en una almazara, tanto sólidos como líquidos.

El prototipo de evaporador funcionó correctamente durante los ensayos realizados una vez llevadas a cabo las modificaciones descritas en el capítulo VII, obteniéndose agua utilizable en el equipo de preparación de polielectrolito o para riego.

El sistema de regulación de la planta ha funcionado perfectamente, tanto desde los Paneles de operador como desde el sistema SCADA. Presenta la ventaja adicional del denominado TELESERVICIO, que a través de la red telefónica conmutada, proporciona acceso remoto a la instalación, pudiendo modificar el programa sin tener que desplazarse los técnicos especialistas a la planta.

Futuros trabajos.

Para futuros trabajos se propone sustituir el evaporador de 1.500 L/h por otro con una capacidad de tratamiento de 15.000 L/h, que es la capacidad de tratamiento del sistema de separación acelerada de sólidos. De esta manera se podrían determinar los costes de operación que tendría una planta industrial con capacidad anual para tratar más de 100.000 m³ de residuos líquidos.

También sería conveniente combinar el sistema de tratamiento integral propuesto con otros procesos de tratamiento de residuos líquidos, con el fin de disminuir el tamaño del evaporador. Así por ejemplo, si los residuos líquidos se someten a procesos de membrana, cuyo principal inconveniente es el rechazo, sería este rechazo el que pasaría a la planta de tratamiento.

Resumen.

ÍNDICE.

ÍNDICE.

I.-	ANÁLISIS DEL SECTOR OLIVARERO.	1
I.1.-	Importancia del olivar.	3
I.2.-	La geografía del olivar español.	3
I.3.-	Composición de la aceituna.	4
I.4.-	Almazaras.	5
I.5.-	Tipos de aceite de oliva en Europa.	6
I.6.-	Composición química del aceite de oliva virgen.	9
I.6.1.-	Fracción saponificable.	9
I.6.2.-	Fracción insaponificable.	9
I.7.-	Proceso de producción y elaboración.	10
I.7.1.-	Recolección y transporte de la aceituna.	11
I.7.2.-	Recepción, limpieza, lavado y almacenamiento del fruto.	12
I.7.3.-	Preparación de la pasta: molienda y batido.	13
I.7.3.1.-	Molienda.	13
I.7.3.2.-	Batido.	15
I.7.4.-	Separación de fases.	17
I.7.4.1.-	Separación de sólidos y líquidos por presión.	17
I.7.4.2.-	Sistema continuo de extracción en tres fases.	20
I.7.4.3.-	Sistema continuo de extracción en dos fases.	22
I.8.-	Características de los residuos líquidos: alpechines.	24
I.8.1.-	Introducción.	24
I.8.2.-	Composición química del alpechín.	25
I.8.2.1.-	Alpechín de prensas.	27
I.8.2.2.-	Alpechín del sistema de tres fases.	27
I.8.2.3.-	Alpechín del sistema de dos fases (aguas de lavado).	28
I.8.3.-	Impacto medioambiental del alpechín.	28
I.9.-	Características de los residuos sólidos: orujos.	30
I.10.-	Comparativa entre los sistemas de dos y tres fases.	33
II.-	ESTADO DEL ARTE.	37
II.1.-	Introducción.	39
II.2.-	Sistemas de depuración de alpechines.	40
II.2.1.-	Balsas de evaporación.	41
II.2.2.-	Procesos biológicos.	41

II.2.3.-	Procesos físicos de concentración por ultrafiltración y ósmosis inversa.	42
II.2.4.-	Depuración por vía química.	43
II.2.5.-	Evaporación forzada y concentración térmica.	43
II.2.6.-	Hidrobomba eólica.	44
II.2.7.-	Incineración.	44
II.2.8.-	Riego de terrenos de cultivo.	45
II.2.9.-	Electrocoagulación.	45
II.2.10.-	Procesos de oxidación avanzada.	46
II.3.-	Técnicas de tratamiento aplicadas al alperujo.	51
II.3.1.-	Obtención de aceite de orujo.	52
II.3.2.-	Utilización como sustrato para la transformación biotecnológica.	53
II.3.3.-	Sistemas físico-químicos aplicados al alperujo.	55
II.3.4.-	Tratamiento biológico.	56
II.3.5.-	Producción de biomasa como recurso energético.	59
II.4.-	Análisis de las técnicas de tratamiento.	61
III.-	OBJETIVOS.	63
IV.-	ENSAYOS DE LABORATORIO.	67
IV.1.-	Introducción.	69
IV.2.-	Ensayos de floculación para la elección del agente de separación acelerada de sólidos.	70
IV.2.1.-	Metodología de la experimentación.	70
IV.2.2.-	Primera fase de experimentación.	72
IV.2.3.-	Análisis de los ensayos realizados.	78
IV.3.-	Optimización de la etapa de separación acelerada de sólidos.	79
IV.3.1.-	Diseño de experimentos.	79
IV.3.1.1.-	Conceptos básicos.	80
IV.3.1.2.-	Aplicación del diseño de experimentos a la etapa de floculación del alpechín.	81
IV.3.2.-	Tratamiento con productos inorgánicos.	91
IV.3.2.1.-	Tratamiento con permanganato potásico.	91
IV.3.2.2.-	Tratamiento con sulfato de aluminio.	94
IV.3.3.-	Separación por ultrasonidos.	99
IV.3.3.1.-	Experimentos realizados.	99

V.-	PLANTA PILOTO MÓVIL DE DEPURACIÓN DE ALPECHÍN.	111
	V.1.- Introducción.	113
	V.2.- Etapas del proceso de la planta piloto móvil.	114
	V.3.- Diseño de la planta piloto móvil.	115
	V.3.1.- Sistema térmico.	116
	V.3.2.- Sistema de separación de sólidos.	118
	V.3.3.- Sistema de evaporación.	120
	V.3.3.1.- Programa de cálculo STX.	121
	V.3.3.2.- Precalentador de alpechín.	123
	V.3.3.3.- Cámara de flash.	126
	V.3.3.4.- Evaporador multitubular.	126
	V.3.3.5.- Condensador parcial de alpechín.	129
	V.3.3.6.- Equipo de control del sistema de evaporación.	130
	V.3.4.- Equipo magnético de tratamiento del alpechín.	131
	V.3.5.- Sistema de desodorización del agua por adsorción.	131
	V.3.6.- Generador de corriente y compresor.	133
	V.3.6.1.- Grupo generador de corriente eléctrica.	133
	V.3.6.2.- Grupo compresor.	134
	V.4.- Instalación y puesta en marcha.	134
	V.4.1.- Caldera de aceite térmico.	134
	V.4.2.- Equipo de separación acelerada de sólidos.	134
	V.4.3.- Sistema de evaporación.	136
	V.4.4.- Resto de equipos.	137
	V.4.4.1.- Instalación eléctrica.	137
	V.4.4.2.- Instalación neumática.	138
	V.4.4.3.- Medidor del potencial Z.	138
	V.5.- Balances de materia y energía térmica.	140
VI.-	PLANTA INDUSTRIAL DE DEMOSTRACIÓN PARA LA DEPURACIÓN INTEGRAL DEL ALPECHÍN.	143
	VI.1.- Introducción.	145
	VI.1.1.- Emplazamiento y superficie.	145
	VI.2.- Etapas del proceso de la planta industrial de demostración.	146
	VI.3.- Diseño de la planta.	147
	VI.3.1.- Sistema térmico.	148
	VI.3.2.- Sistema de separación de sólidos.	156
	VI.3.2.1.- Depósito de homogeneización y filtro inicial.	156
	VI.3.2.2.- Depósitos pulmón de alpechín.	156

VI.3.2.3.-	Equipo de preparación del polielectrolito en continuo.	157
VI.3.2.4.-	Mezclador cónico.	158
VI.3.2.5.-	Decantador y accesorios.	158
VI.3.2.6.-	Depósito de recogida de fangos.	158
VI.3.2.7.-	Bombas de impulsión de líquidos.	159
VI.3.3.-	Sistema de evaporación.	161
VI.3.3.1.-	Pre calentador de alpechín.	161
VI.3.3.2.-	Cámara de flash.	164
VI.3.3.3.-	Evaporador multitubular.	164
VI.3.3.4.-	Intercambiadores de placas.	167
VI.3.3.5.-	Bombas de impulsión de líquidos.	168
VI.3.3.6.-	Tuberías calorifugadas.	170
VI.3.4.-	Equipo magnético de ablandamiento de aguas.	172
VI.3.5.-	Compresor.	173
VI.3.6.-	Sistema de regulación.	176
VI.3.6.1.-	Sistema de regulación de temperatura en el pre calentador.	177
VI.3.6.2.-	Sistema de regulación de temperatura en el evaporador.	177
VI.3.6.3.-	Sistema de presión en secundario.	177
VI.3.6.4.-	Material adicional para el control del proceso.	177
VI.3.7.-	Equipo de secado mecánico de orujo.	178
VI.4.-	Instalación y puesta en marcha.	179
VI.4.1.-	Fontanería.	179
VI.4.1.1.-	Llaves y válvulas.	179
VI.4.1.2.-	Tuberías y mangueras.	180
VI.4.1.3.-	Resto de instalación.	180
VI.4.2.-	Compresor e instalación neumática.	182
VI.4.3.-	Instalación eléctrica.	183
VI.4.3.1.-	Sistema de iluminación.	183
VI.4.3.2.-	Cableado.	183
VI.4.3.3.-	Accesorios.	184
VI.4.3.4.-	Cuadros de mando.	184
VI.4.4.-	Caldera de aceite térmico.	185
VI.4.5.-	Sistema de separación acelerada de sólidos.	186
VI.4.6.-	Equipo de evaporación y regulación del mismo.	189
VI.5.-	Balances de materia y energía térmica.	191

VI.6.- Estudio económico.	193
VI.6.1.- Costes de explotación.	193
VI.6.2.- Costes de amortización.	195
VI.6.3.- Ingresos y ahorros.	195
VII.- PLANTA DE DEMOSTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO INTEGRAL Y VALORACIÓN DE TODOS LOS RESIDUOS DE ALMAZARA.	199
VII.1.- Introducción.	201
VII.1.1.- Emplazamiento y superficie.	202
VII.2.-Etapas del proceso de la planta de demostración.	203
VII.3.-Diseño de la planta.	205
VII.3.1.- Sistema de separación acelerada de sólidos.	206
VII.3.1.1.- Subsistema de filtración de sólidos gruesos.	206
VII.3.1.2.- Subsistema de preparación de polielectrolito.	207
VII.3.1.3.- Subsistema de mezcla.	208
VII.3.1.4.- Subsistema de decantación de sólidos.	208
VII.3.2.- Sistema de concentración térmica del alpechín.	211
VII.3.3.- Sistema de secado mecánico de sólidos.	212
VII.3.4.- Sistema de control de la planta.	213
VII.3.5.- Equipo magnético de ablandamiento de aguas.	215
VII.3.6.- Equipo compresor de aire e instalación neumática.	215
VII.3.7.- Sistema de generación eléctrica.	216
VII.3.7.1.- Módulos fotovoltaicos.	217
VII.3.7.2.- Inversor CC/CA de conexión a red.	218
VII.3.7.3.- Protecciones de la instalación.	219
VII.3.8.- Estructura de la planta de compostaje.	220
VII.3.8.1.- Características de actuación de las ventilaciones.	221
VII.3.8.2.- Cimentación y material de cubrición.	221
VII.3.9.- Planta de preparación de abonos líquidos.	221
VII.4.-Instalación y puesta en marcha.	222
VII.4.1.- Instalación eléctrica.	223
VII.4.1.1.- Acometida.	223
VII.4.1.2.- Cuadro general de mando y protección.	223
VII.4.2.- Sistema de separación acelerada de sólidos.	225
VII.4.2.1.- Estados del sistema.	227
VII.4.2.2.- Arranque del Sistema.	228
VII.4.2.3.- Funcionamiento desde Panel de Operador.	231
VII.4.2.4.- Funcionamiento sistema SCADA.	237

VII.4.2.5.- Modos de accionamiento.	240
VII.4.2.6.- Situación de emergencia.	242
VII.4.2.7.- Situación de defecto.	242
VII.4.3.- Visualización de avisos.	243
VII.4.3.1.- Lista de avisos	244
VII.5.- Sistema de evaporación.	246
VII.5.1.- Procedimiento de arranque.	246
VII.5.2.- Procedimiento de parada.	247
VII.5.3.- Procedimiento de aclarado.	248
VII.5.4.- Procedimiento de limpieza.	248
VII.5.5.- Ensayos de evaporación 24 horas.	250
VIII.- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.	253
VIII.1.- Introducción.	255
VIII.2.- Conclusiones.	255
VIII.3.- Líneas futuras.	257
IX.- BIBLIOGRAFÍA.	259
ANEXO I: PLANOS.	271

**ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS,
ACRÓNIMOS Y SÍMBOLOS DE UNIDADES.**

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura I-1: Máquina limpiadora de aceituna en el campo.	13
Figura I-2: Molino de rulos o empiedro.	14
Figura I-3: Molino de martillo.	15
Figura I-4: Batidora horizontal de un cuerpo.	17
Figura I-5: Prensa hidráulica de extracción del aceite.	18
Figura I-6: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite por prensado.	19
Figura I-7: Centrífuga horizontal (3 fases) para la extracción del aceite.	20
Figura I-8: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite en tres fases.	21
Figura I-9: Centrífuga horizontal (2 fases) para la extracción del aceite.	22
Figura I-10: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite en dos fases.	23
Figura I-11: Composición del alpechín de prensas.	27
Figura I-12: Composición del alpechín de tres fases.	27
Figura I-13: Composición del alpechín de dos fases.	28
Figura IV-1: Gráfica lineal seleccionada asociada a la matriz ortogonal.	84
Figura V-1: Distribución de equipos sobre plataforma móvil.	113
Figura V-2: Vista general de la planta móvil.	113
Figura V-3: Diagrama de bloques del proceso de la planta piloto móvil.	116
Figura V-4: Esquema de la fase de separación acelerada de sólidos.	118
Figura V-5: Sistema de separación acelerada de sólidos.	119
Figura V-6: Sistema de evaporación.	121
Figura V-7: Precalentador de la planta móvil.	125
Figura V-8: Cámara de flash de la planta móvil.	126
Figura V-9: Evaporador de la planta móvil.	128
Figura V-10: Condensador parcial.	129
Figura V-11: Medidor de potencial Z.	139
Figura V-12: Balance de materia tipo para la planta móvil.	141
Figura VI-1: Cartel informativo de la subvención de la Junta de Castilla y León.	145
Figura VI-2: Diagrama de bloques del proceso de la planta industrial de demostración.	148
Figura VI-3: Valvulería central de la caldera.	154
Figura VI-4: Equipo de preparación de electrolito.	157
Figura VI-5: Cuadro eléctrico del equipo de preparación de polielectrolito.	188
Figura VI-6: Controladores PID del proceso.	190
Figura VI-7: Balance de materia para la planta industrial de demostración.	192

Figura VII-1: Diagrama de bloques del proceso de la planta de demostración.	204
Figura VII-2: Líneas de separación acelerada de sólidos.	206
Figura VII-3: Mezcladores cónicos.	208
Figura VII-4: Prototipo evaporador.	211
Figura VII-5: Instalación solar fotovoltaica.	217
Figura VII-6: Nave de compostaje.	220
Figura VII-7: Diagrama del proceso de floculación.	226
Figura VII-8: Pantalla de arranque en Panel de operador.	228
Figura VII-9: Pantalla de arranque en SCADA.	229
Figura VII-10: Indicadores del pupitre de mando.	229
Figura VII-11: Pantalla inicial en SCADA.	230
Figura VII-12: Pantalla principal en Panel de operador.	232
Figura VII-13: Pantalla de la Línea 1 en Panel de operador.	233
Figura VII-14: Pantalla de pulsadores línea 1 en Panel de operador.	234
Figura VII-15: Pantalla de la línea 3-4 en Panel de operador.	235
Figura VII-16: Pantalla de elementos comunes en Panel de operador.	236
Figura VII-17: Pantalla de polielectrolito en Panel de operador.	236
Figura VII-18: Pantalla de la línea 1 y detalle del pulsador para la Válvula VM 1 en SCADA.	238
Figura VII-19: Pantalla de la línea 3-4 en SCADA.	239
Figura VII-20: Pulsadores para los motores.	240
Figura VII-21: Sinóptico del estado de un motor en el sistema SCADA.	241
Figura VII-22: Pulsadores para las bombas neumáticas.	241
Figura VII-23: Sinóptico del estado de una bomba neumática en el sistema SCADA.	241
Figura VII-24: Selector de apertura-cierre para una válvula morizada.	242
Figura VII-25: Sinóptico del estado de una válvula motorizada en el sistema SCADA.	242
Figura VII-26: Pantalla de avisos.	243
Figura VII-27: Caudal evaporado después de modificaciones.	252

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla I-1: Distribución del cultivo del olivo en España.	3
Tabla I-2: Cantidad de olivos cultivados en España.	4
Tabla I-3: Distribución de las almazaras en España.	6
Tabla I-4: Composición media de la materia mineral del alpechín.	25
Tabla I-5: Composición química media de la materia orgánica del alpechín.	26
Tabla I-6: Características del poder contaminante del alpechín.	26
Tabla I-7: Principales características del alperujo.	31
Tabla IV-1: Asignación de factores a sus correspondientes columnas en el diseño fraccional L16.	85
Tabla IV-2: Datos obtenidos para la experiencia 1.	86
Tabla IV-3: Datos obtenidos para la experiencia 2.	87
Tabla IV-4: Datos obtenidos para la experiencia 3.	88
Tabla IV-5: Contribución de los factores e interacciones.	89
Tabla IV-6: Tabla de datos correspondientes al experimento confirmatorio.	90
Tabla IV-7: Resultados experimentales utilizando KMnO_4 .	93
Tabla IV-8: Sulfato de aluminio y floculante añadidos a las distintas muestras.	96
Tabla IV-9: Resultados obtenidos en el tratamiento del alpechín con sulfato de aluminio y floculante.	97
Tabla IV-10: Factores considerados para el arreglo ortogonal L 16.	102
Tabla IV-11: Experimentos correspondientes al arreglo ortogonal L16.	103
Tabla IV-12: Datos recopilados a partir del diseño completo L16.	104
Tabla IV-13: Contribución de los factores e interacciones.	105
Tabla IV-14: Factores considerados para el arreglo ortogonal L8.	106
Tabla IV-15: Experimentos correspondientes al arreglo ortogonal L8.	107
Tabla IV-16: Datos recopilados a partir del diseño L8.	108
Tabla IV-17: Contribución de los factores e interacciones.	109
Tabla V-1: Propiedades físicas del alpechín.	122
Tabla V-2: Propiedades físicas del aceite térmico.	123
Tabla V-3: Datos geométricos básicos para el precalentador de la planta móvil.	124
Tabla V-4: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el precalentador de la planta móvil.	124
Tabla V-5: Resultados del diseño del precalentador de la planta móvil.	125
Tabla V-6: Datos geométricos básicos para el evaporador de la planta móvil.	127

Tabla V-7: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el evaporador de la planta móvil.	127
Tabla V-8: Resultados del diseño del evaporador de la planta móvil.	128
Tabla V-9: Especificaciones y propiedades del carbón FILTRASORB F-400.	132
Tabla V-10: Características del filtro MINIDISPOSORB.	133
Tabla VI-1: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el precalentador de la planta industrial de demostración.	162
Tabla VI-2: Datos geométricos básicos para el precalentador de la planta industrial de demostración	162
Tabla VI-3: Resultados del diseño del precalentador de la planta industrial de demostración.	163
Tabla VI-4: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el evaporador de la planta industrial de demostración.	165
Tabla VI-5: Datos geométricos básicos para el evaporador de la planta industrial de demostración.	165
Tabla VI-6: Resultados del diseño del evaporador de la planta industrial de demostración.	166
Tabla VI. 7: Valores de consigna de los controladores PID.	191
Tabla VI-8: Costes del proceso de tratamiento del alpechín.	197
Tabla VI-9: Ahorros y beneficios del proceso de tratamiento del alpechín.	197
Tabla VII.1: Elementos alimentados por el cuadro de potencia.	224
Tabla VII-2: Estado en función del indicador luminoso.	230
Tabla VII-3: Densidad del concentrado en evaporador.	250
Tabla VII-4: Caudal de evaporación.	251

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS Y SIMBOLOS DE UNIDADES.

A	amperio
AC	corriente alterna
°C	grados Celsius
CC	corriente continua
CE	conductividad eléctrica
cm	centímetro
COT	carbono orgánico total
C _p	calor específico
cSt	centistokes
C.V.	caballo de vapor
dB	decibelio
DBO ₅	demanda biológica de oxígeno
DN	diámetro nominal
DQO	demanda química de oxígeno
dS	decisiemens
g	gramo
h	hora
ha	hectárea
k	conductividad térmica
K	Kelvin
kcal	kilocaloría
kg	kilogramo
kHz	kiloherzio
kJ	kilojulio
kPa	kilopascales
kV	kilovoltio
kW	kilovatio
L	litro
m	metro
mA	miliamperio
mg	miligramo
mL	mililitro
mm	milímetro

min	minuto
mmHg	milímetros de mercurio
mV	milivoltio
NTU	unidad nefelométrica de turbidez
PCS	poder calorífico superior
PHA	polihidroxialcanoato.
PHB	polihidroxiбутirato.
PN	presión nominal
POAs	Procesos de oxidación avanzada
ppm	partes por millón
R	factor de suciedad
rpm	revoluciones por minuto
s	segundo
t	tonelada.
V	voltio
W	vatio
ρ	densidad
μ	viscosidad dinámica
ν	viscosidad cinemática
€	euro
Ω	ohmio
ΔH	entalpia
ΔH_{EVAP}	entalpia de vaporización
ΔT	incremento de temperatura
\dot{m}	flujo másico

I.- ANÁLISIS DEL SECTOR OLIVARERO

I.1.- IMPORTANCIA DEL OLIVAR.

La existencia del olivo silvestre se remonta por lo menos a 12 milenios, según testimonios acumulados en yacimientos arqueológicos encontrados por diversos puntos del Mediterráneo. Parece originario del Asia Menor, en una zona amplia que abarca desde el sur del Cáucaso hasta la altiplanicie de Irán y la costa de Siria y Palestina.

El olivo cultivado puede referirse a unos 6.000 años atrás, en la zona descrita, para extenderse por Chipre hacia Anatolia y por Creta hacia Egipto. Muy pronto el olivo pobló los países ribereños del Mediterráneo y en ellos permanecen la mayor parte de los olivos existentes, así como la casi totalidad de la producción oleícola.

El olivo es, por encima de todo, un cultivo mediterráneo. Casi el cien por cien de la superficie plantada está situada en los países de la cuenca mediterránea, siendo de gran importancia en la economía y cultura de estas regiones.

I.2.- LA GEOGRAFÍA DEL OLIVAR ESPAÑOL.

Según la agencia para el aceite de oliva, la superficie de olivar español ocupa una superficie de 2.509.677 ha, de las que el 96% corresponde a variedades de aceituna para almazara (2.377.943 ha) y el 4% restante a variedades para mesa (98.597 ha). Su distribución geográfica es la siguiente:

Tabla I-1: Distribución del cultivo del olivo en España.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	SUPERFICIE TOTAL (ha)	%Superficie
Andalucía	1.515.320	60,38
Castilla-La Mancha	397.173	15,83
Extremadura	255.310	10,17
Cataluña	116.112	4,63
Comunidad Valenciana	91.701	3,65
Aragón	57.346	2,28
Resto	76.715	3,06
TOTAL	2.509.677	100,00

Fuente: Agencia para el aceite de oliva.

La superficie olivarera en regadío es de 555.673 ha, equivalente al 22% de la total, relación que se incrementa en Andalucía hasta el 30%. El sistema de riego más utilizado es de tipo localizado, que representa el 85% de la superficie regada de olivar.

El número total de olivos en España es de 282.696.000, y su distribución en las Comunidades Autónomas más representativas es la siguiente:

Tabla I-2: Cantidad de olivos cultivados en España.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Nº de olivos
Andalucía	174.788.000
Extremadura	29.602.000
Castilla-La Mancha	36.263.000
Cataluña	14.307.000
Comunidad Valenciana	10.963.000
Aragón	5.889.000
Resto	10.884.000
TOTAL	282.696.000

Fuente: Agencia para el aceite de oliva.

El sistema de plantación de olivos ha cambiado en los últimos años, se ha pasado de la plantación en pies de 3 o 4 plantas a poner solamente un árbol por pie con el fin de optimizar el proceso de recolección con las máquinas vibradoras.

I.3.- COMPOSICIÓN DE LA ACEITUNA.

El fruto del olivo es la aceituna, una drupa de tamaño variable y cuya composición depende de las variedades, suelos, climatología, etc. [Civantos 2008].

En la aceituna se distingue el tejido superficial que es el epicarpio, que representa entre el 2 y el 2,5% del peso del fruto. La parte carnosa de la aceituna es el mesocarpio, al que corresponde la mayor parte del peso del fruto, entre el 70 y el 80%. El hueso o endocarpio supone entre 15 y el 23% de la masa de la aceituna y encierra a la semilla (2 a 4% de peso del fruto).

La mayor parte del aceite está contenido en el mesocarpio, mientras el endocarpio está predominantemente formado por celulosa bruta.

La composición del fruto en el momento de la recolección para la obtención de aceite de oliva virgen es muy variable. Como valores representativos se pueden tomar:

Agua de vegetación	40 - 55 %
Aceite	18 - 32 %
Hueso	14 - 22 %
Semilla	1 - 3 %
Epicarpio y resto de pulpa	8 - 10 %

En el proceso de elaboración del aceite de oliva virgen, se pretende recuperar la mayor cantidad posible del aceite contenido en la aceituna, separándolo del resto de componentes que lo acompañan. Se efectúa siguiendo alguno de estos tres sistemas:

- Sistema tradicional de presión.
- Sistema de centrifugación de masas en 3 fases.
- Sistema de centrifugación de masas en 2 fases.

Se diferencian por la tecnología utilizada y por las características de los subproductos que serán objeto de estudio en los sucesivos capítulos de este trabajo de investigación.

Actualmente el sistema utilizado mayoritariamente en España es el de centrifugación de masas en 2 fases.

I.4.- ALMAZARAS.

El aceite de oliva se obtiene en instalaciones industriales cuya denominación tradicional, en la mayor parte de España, es ALMAZARA. Existen otros términos locales, sobre todo en Andalucía, como TRUJAL y MOLINO DE ACEITE.

En la actualidad existen en España 1.744 almazaras, distribuidas por 14 Comunidades Autónomas, siendo Andalucía donde se concentra el mayor porcentaje (45%). A su vez el 40% de las ubicadas en esta Comunidad Autónoma se encuentran en Jaén. A dicha Región y provincia les corresponde, respectivamente, el 77% y el 32% de la producción, referidos al total nacional. El tamaño de las almazaras en España (medido en función de la cantidad de aceite que producen por campaña) es variable, siendo el tipo más frecuente el que opera en el rango que va de las 20 a las 100 t (23,30% del total); sin embargo el mayor peso productivo recae en las almazaras que se encuentran en el rango de producción que va de 1.000 a 2.500 t (34,05% de la producción total nacional, a pesar de que en número no llega al 11%).

Tabla I-3: Distribución de las almazaras en España.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Nº ALMAZARAS
ANDALUCIA	818
ARAGON	102
BALEARES	9
CASTILLA LA MANCHA	243
CASTILLA Y LEON	17
CATALUÑA	202
EXTREMADURA	117
GALICIA	2
MADRID	20
MURCIA	38
NAVARRA	16
PAIS VASCO	4
LA RIOJA	23
C. VALENCIANA	133
ESPAÑA	1.744

Fuente: Agencia para el aceite de oliva.

I.5.- TIPOS DE ACEITE DE OLIVA EN EUROPA.

La legislación de la Unión Europea (Reglamento CE 1234/2007) en el artículo 118 establece las normas de comercialización aplicables al aceite de oliva y al aceite de orujo de oliva, distinguiendo en el anexo 16 las siguientes designaciones y definiciones de los aceites de oliva y aceites de orujo de oliva:

ACEITES DE OLIVA VÍRGENES.

Aceites obtenidos del fruto del olivo exclusivamente por medios mecánicos u otros procedimientos físicos aplicados en condiciones que excluyan toda alteración del producto, y que no se han sometido a ningún otro tratamiento que no sea su lavado, decantación, centrifugado o filtración, excluidos los aceites obtenidos con el uso de disolventes o de coadyuvantes de acción química o bioquímica, por un procedimiento de reesterificación o como resultado de cualquier mezcla con aceites de otros tipos.

Los aceites de oliva vírgenes se clasificarán y designarán de la forma siguiente:

- *Aceite de oliva virgen extra*: Aceite de oliva virgen que tiene una acidez libre máxima, expresada en ácido oleico, de 0,8 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

Este tipo de aceite es de máxima calidad, se obtiene directamente de aceitunas en buen estado únicamente por procedimientos mecánicos, con un sabor y olor intachables y libres de defectos. La puntuación organoléptica, dada por un panel de cata cualificado, debe ser igual o superior a 6,5 puntos. Existen tres subtipos:

- *Monovarietal*: Obtenido a partir de una sola variedad de aceituna.
- *Coupage*: Producido a partir de diversas variedades.
- *Denominación de Origen (D.O.)*: Generado a partir de aceitunas procedentes de una determinada área geográfica, donde se la elabora y embotella.

- *Aceite de oliva virgen*: Aceite de oliva virgen que tiene una acidez libre máxima, expresada en ácido oleico, de 2 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

Este aceite sigue los mismos parámetros de calidad que el aceite de oliva virgen extra, en cuanto a los métodos de obtención. La diferencia es que no puede superar los 2° de acidez, y que la puntuación obtenida por un panel de cata cualificado debe ser igual o superior a 5,5 puntos. En otras palabras, los defectos deben ser prácticamente imperceptibles para el consumidor.

- *Aceite de oliva lampante*: Aceite de oliva virgen que tiene una acidez libre, expresada en ácido oleico, de más de 2 g por 100 g y/o cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

Es aceite virgen defectuoso y que por tanto no se puede consumir directamente como los otros aceites vírgenes. Su nombre le viene de la utilidad que se le dio en tiempos pasados como combustible para las lámparas o candiles. Procede únicamente de aceitunas, pero de baja calidad, debido en su mayor parte a las aceitunas del suelo, las heladas, picadas, etc.

ACEITE DE OLIVA REFINADO.

Aceite de oliva obtenido del refinado de aceites de oliva vírgenes, que tiene una acidez libre, expresada en ácido oleico, de no más de 0,3 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

ACEITE DE OLIVA - CONTIENE EXCLUSIVAMENTE ACEITES DE OLIVA REFINADOS Y ACEITES DE OLIVA VÍRGENES.

Aceite de oliva obtenido mezclando aceite de oliva refinado y aceite de oliva virgen distinto del lampante, que tiene una acidez libre, expresada en ácido oleico, de no más de 1 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

ACEITE DE ORUJO DE OLIVA CRUDO.

Aceite que se obtiene del orujo de oliva mediante un tratamiento con disolventes o empleando medios físicos, o que corresponde, salvo en determinadas características, al aceite de oliva lampante, y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría, excluido el aceite obtenido por un procedimiento de reesterificación o como resultado de una mezcla con aceites de otros tipos.

ACEITE DE ORUJO DE OLIVA REFINADO.

Aceite obtenido del refinado de aceite de orujo de oliva crudo, que tiene una acidez libre, expresada en ácido oleico, de no más de 0,3 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

ACEITE DE ORUJO DE OLIVA.

Aceite obtenido mezclando aceite de orujo de oliva refinado y aceite de oliva virgen distinto del lampante, que tiene una acidez libre, expresada en ácido oleico, de no más de 1 g por 100 g y cuyas otras características se ajustan a las establecidas para esta categoría.

El artículo 118 establece que solo podrán comercializarse al por menor los aceites de oliva virgen extra, aceite de oliva virgen, aceite de oliva y aceite de orujo de oliva.

I.6.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACEITE DE OLIVA VIRGEN.

Dentro de la composición del aceite de oliva virgen, se deben de considerar dos grupos diferenciados de compuestos químicos [Civantos 2008]: fracción saponificable y fracción insaponificable.

I.6.1.- FRACCIÓN SAPONIFICABLE.

Representa entre el 98,5 y el 99,5 % del peso del aceite de oliva virgen. Está formada por triglicéridos (combinación de la glicerina con ácidos grasos) y ácidos grasos libres.

Los aceites se caracterizan por los ácidos grasos que forman la combinación en los triglicéridos. Entre estos ácidos grasos, cabe destacar:

- a) Ácidos grasos saturados. No tienen ningún doble enlace en su cadena de átomos de carbono. En el aceite de oliva virgen se presentan en una proporción comprendida entre 8 y 23%.

Ácido Mirístico	(C14:0)
Ácido Palmítico	(C16:0)
Ácido Esteárico	(C18:0)
Ácido Aráquico	(C20:0)

- b) Ácidos grasos monoinsaturados, que presentan un doble enlace en la cadena de átomos de carbono, siendo los que mayor porcentaje representan (61-86%), fundamentalmente por el ácido oleico.

Ácido Palmitoleico	(C16:1)
Ácido Oleico	(C18:1)

- c) Ácidos grasos poliinsaturados, que tienen más de un doble enlace en la cadena de átomos de carbono, representan entre 2 - 20 %.

Ácido linoleico	(C18:2)	2 a 18 %
Ácido linolénico	(C18:3)	Hasta 1,5 %

I.6.2.- FRACCIÓN INSAPONIFICABLE.

Supone entre el 0,5 y el 1,5 % del peso del aceite de oliva.

Comprende una gran cantidad de componentes minoritarios que son muy importantes para el comportamiento y la calidad de los aceites. Están compuestos por:

- a) Hidrocarburos: Entre los que cabe destacar:
Terpenos, fundamentalmente escualeno.
Carotenos: Comunican la coloración amarillenta. La proporción entre carotenos y clorofila da la pigmentación de los aceites. Es la provitamina A.
En general son compuestos oxidables.
- b) Pigmentos no terpénicos: Incluye a la clorofila, causante de la coloración verde. Es exclusiva de los aceites de oliva. En la oscuridad actúa como antioxidante y potencia la acción de los demás antioxidantes.
- c) Tocoferoles: Predomina el alfa-tocoferol que es la vitamina E. Tiene carácter antioxidante.
- d) Esteroles: Son alcoholes superiores monovalentes, entre los que predomina el beta-sitosterol, que interfiere la absorción intestinal del colesterol.
- e) Polifenoles: Son antioxidantes e influyen en las cualidades organolépticas de los aceites. Dependen de la variedad, grado de maduración de la aceituna, manejo de la misma en la fábrica, elaboración, etc. En el proceso de refinado se pierde una parte importante de los polifenoles, con la consiguiente pérdida de estabilidad.
- f) Productos volátiles: Son los responsables de los aromas de los aceites y los forman alcoholes, cetonas, ésteres, derivados furánicos, etc.

I.7.- PROCESO DE PRODUCCIÓN Y ELABORACIÓN.

Las diferentes fases del proceso de elaboración del aceite de oliva son [Hermoso *et al* 1991]:

- Recolección del olivo.
- Transporte de la aceituna hasta la almazara.
- Recepción, limpieza, lavado y almacenamiento del fruto.
- Preparación de la pasta: molienda y batido.
- Separación de la fase sólida, por presión o por centrifugación.
- Separación de la fase líquida, por decantación y/o centrifugación.
- Almacenamiento y conservación del aceite.
- Envasado y comercialización.

I.7.1.- RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE LA ACEITUNA.

Existen básicamente cuatro métodos de recolección de aceitunas:

- a) Ordeño o peinado. Método tradicional en que los frutos se recogen a mano, en ocasiones con ayuda de un rastrillo o “peine”, para ser depositados en recipientes que porta el recolector, o dejados caer en una malla. Es el sistema más respetuoso con el fruto, que es recogido limpio y sin daños, aunque por su lentitud exige más mano de obra que otros y arroja los ratios más bajos de productividad por persona.
- b) Vareo. Mediante este sistema se provoca la caída de las aceitunas en unas redes colocadas en el suelo bajo el árbol, golpeando la copa de éste con una vara. No existe consenso entre los olivicultores en cuanto a su pertinencia, ya que en opinión de algunos daña el árbol y produce un aumento de la “vecería” (característica natural del olivo, por la que se produce una alternancia, de manera que se suceden los años de alta y baja productividad).
- c) Sacudido. Como su nombre indica, consiste en sacudir las ramas del árbol (manualmente o por medios mecánicos, con maquinaria específica) para provocar que los frutos caigan al suelo encima de mantas colocadas a tal fin. La mecanización del proceso permite una mayor rapidez y el empleo de menos jornaleros, aunque el elevado coste de la maquinaria, en compra o en alquiler, limita el acceso a la misma de los pequeños productores.
- d) Recogida del suelo La recolección se realiza recogiendo del suelo los frutos caídos de forma natural y espontánea por maduración, manualmente o mediante el uso de máquinas barredoras, aspiradoras y sopladoras, que si bien facilitan la tarea, pueden dañar el fruto o provocar que junto a éste se recojan piedras o tierra. Este método aporta pocas ventajas, pues exige una meticulosa limpieza del olivar y no es útil para terrenos en pendiente. Adicionalmente, el fruto caído suele estar excesivamente maduro, lo que repercute en un aceite de peor calidad.

Cabe destacar que la recolección es una de las operaciones que mayor transcendencia presenta en el cultivo del olivar, ya que repercute en la cantidad y en la calidad del aceite obtenido, en el coste de producción y en el volumen de la cosecha siguiente. El momento ideal para hacer la recolección sería aquel que mejor cubra la consecución de los siguientes objetivos [Civantos 2008]:

- Las aceitunas deben contener el mayor peso en aceite.
- El aceite debe ser de la mayor calidad.
- Los daños que sufra el olivo en la recolección deben ser mínimos.
- La cosecha siguiente no debe ser perjudicada.
- El coste de la recolección debe de ser el más económico posible.

Los requisitos básicos para obtener un aceite de oliva virgen de calidad son los siguientes:

- La aceituna que está en el árbol es de mejor calidad que la caída al suelo. En el momento de la recolección deben separarse y transportarse hasta la almazara de forma diferenciada lo antes posible.
- La aceituna que cae al suelo y que lleva barro, o que por el sistema de recogida lleve gran cantidad de tierra o piedras, debe de lavarse lo antes posible en la almazara, procurando que sea el mismo día de la recolección.
- En el transporte deben de comprimirse las aceitunas lo menos posible (remolque de tractor, camión basculante o cajas de plástico, nunca en sacos).

I.7.2- RECEPCIÓN, LIMPIEZA, LAVADO Y ALMACENAMIENTO DEL FRUTO.

Realizada la primera clasificación en la recepción, la aceituna pasa al equipo de limpieza y lavado que suele constar de:

- Tolvas de entrada.
- Cintas transportadoras entre tolvas y máquina.
- Máquina limpiadora (ventilador de aire).
- Máquina lavadora (agua en circuito cerrado)..
- Tolvas para pesada de aceitunas limpias.
- Cintas transportadoras hasta el punto de espera o fabricación.

En ocasiones se necesita almacenar aceituna durante más o menos días (reserva de fruto para funcionamiento continuo o exceso de fruto recepcionado), provocando una elevación de la temperatura con el consiguiente aumento de la acidez del aceite, lo que supone un ataque contra la calidad del mismo. Por lo tanto, el tiempo de almacenaje (atroje) debe ser mínimo.



Figura I-1: Máquina limpiadora de aceituna en el campo.

1.7.3.- PREPARACIÓN DE LA PASTA: MOLIENDA Y BATIDO.

Se procede a la preparación de la pasta que consta, sea cual fuere el procedimiento que luego vaya a emplearse en la separación de fases, de molienda y batido.

1.7.3.1.- Molienda.

El aceite se encuentra en la aceituna en el mesocarpio, en forma de gotas diminutas dentro de las vacuolas de las células. El primer paso para su extracción es la realización de la molienda; ésta produce el desgarramiento de las membranas celulares dando lugar a la pasta de aceitunas, que está formada por:

- Fases sólidas: restos de tejidos.
- Fases líquidas: aceite y alpechín.

TIPOS DE MOLINOS.

- Empiedros o rulo. Están constituidos por:
 - *Solera:* Zona circular de piedra silíceo.
 - *Muelas:* De forma troncocónica del mismo material.
 - *Alfarje:* Canal exterior donde se acumula la pasta.
 - *Rastra:* Paleta que barre el alfarje conduciendo la pasta a un depósito o sistemas de transporte (acoplada a los empiedros o rulos).

Existe un modelo utilizado en Italia cuyas características diferentes son:

- *Basamento* circular de granito.
- *Muelas*: forma cilíndrica.
- *Mecanismo de accionamiento*, las raederas para la mezcla y expulsión de la pasta se encuentran debajo de la solera.
- *Batea* de hierro troncocónica con compuerta de salida de la pasta.

La velocidad de giro de este tipo de molino oscila de 10 a 14 rpm.



Figura I-2: Molino de rulos o empiedro.

- Trituradores metálicos:

Son aquellos que realizan la molienda de la aceituna por impacto, cizalla o rozamiento. El interior de estos molinos debe ser de acero inoxidable para evitar la incorporación de trazas metálicas. Suelen ser de uno de estos tipos:

- *De martillo.*

Formados por un eje de rotación que arrastra en su movimiento unas crucetas de acero las cuales llevan en sus extremos unos ensanchamientos o martillos. Juego de cribas intercambiables que permiten modificar el grado de molienda.

- *Discos dentados.*

Formado por dos discos enfrentados que giran en sentido contrario y a veces a distinta velocidad, estos llevan en sus caras insertadas unas barras que desgarran la aceituna que ha de pasar entre los discos del centro a la periferia. Los discos están rodeados por una criba que gradúa el grado de molienda.

➤ *Cilindros estriados.*

Formado por dos rodillos iguales con los ejes horizontales y paralelos que giran uno hacia otro. La superficie de los rodillos es acanalada de forma que desgarrar y tritura la aceituna de la entrada a la salida donde el paso de las estrías es menor. La alimentación se realiza por la parte superior y la Salida por la inferior.

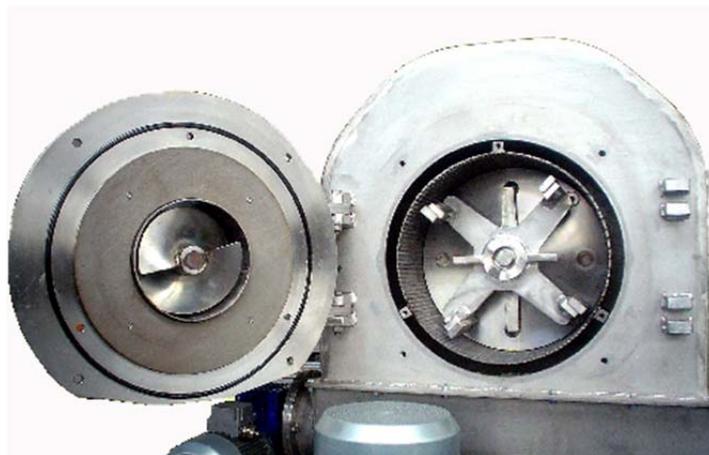


Figura I-3: Molino de martillo.

1.7.3.2.- Batido.

El objeto del batido es conseguir una buena separación de las diferentes fases dentro de un conjunto macroscópicamente homogéneo: la pasta.

El batido efectúa una doble acción:

- Complemento de cizallamiento de las partes insuficientemente tratadas en el molino.
- Reunir en una fase oleosa continua las gotas de aceite dispersas en la pasta molida, aumentando en este modo la proporción de mosto suelto a partir del mosto normal.

En ocasiones, la pasta de aceituna presenta serias dificultades para la separación de la fase oleosa, en estos casos se adicionan productos que faciliten la extracción de líquidos de la pasta. Los productos legalmente autorizados para ello son el microtalco natural y el agua [Alba *et al*, 1982] y [Fernández *et al* 2008].

El microtalco natural es un producto inorgánico (silicato de magnesio hidratado) que sin afectar a las propiedades intrínsecas de la pasta, ni modificar las características físico-químicas y organolépticas del aceite, mejora considerablemente la textura de las pastas difíciles aumentando el rendimiento de la extracción. Con su uso se obtienen aceites más limpios, favoreciendo la disminución de sólidos finos en el alpechín y mejorando su agotamiento graso [Cert *et al*, 1996].

La formulación enzimática empleada en la extracción de aceite de oliva procedente de pastas difíciles, está basada principalmente en la actividad de pectinasas, ya que se ha demostrado que existe una relación entre el contenido de materias pécticas de la pasta y la dificultad de separación de su aceite. Las pastas tratadas no presentan modificación en su textura y fluidez durante el batido, obteniéndose aceites de mejor aspecto y limpieza que aquellas no tratadas, no observándose cambios en las características físico-químicas ni en las organolépticas. Se mejora el rendimiento industrial de las pastas, resultando los orujos con menor humedad y riqueza grasa, y los alpechines con menor porcentaje de sólidos en suspensión y mayor agotamiento de grasa.

Con el fin de facilitar la posterior separación de los aceites, se dota frecuentemente a las batidoras de un sistema de calefacción que consiste en una doble pared (encamisado) o tubería interior por donde circula un fluido calefactor (agua).

Los factores fundamentales que hay que cuidar en el batido son:

- La velocidad para una pasta normal oscila entre 18 - 20 rpm.
- Tiempo de batido: 40-60 min.
- Temperatura. La viscosidad del aceite varía en función de la temperatura, si ésta aumenta la viscosidad disminuye y se facilita la extracción del aceite. La temperatura adecuada para la obtención de aceite de calidad oscila entre 25-30° C en la pasta.

TIPOS DE BATIDORAS.

- Eje horizontal. Son los más utilizados, las palas giran sobre un eje paralelo a la base de la batidora. Hoy día se utilizan mucho las de más de un piso (en cascada), éstas mejoran el dilacerado así como la uniformidad de la temperatura y tiempos de tratamiento.
- Eje vertical. Las palas son de mayor tamaño y giran en torno a un eje que es perpendicular a la base de la batidora. Estas pueden estar conectadas en batería o individuales.

Las paredes de las batidoras deben ser de material inerte (acero inoxidable) para evitar la incorporación de trazas metálicas a la pasta.

Previamente a la presión o a la centrifugación, se puede intercalar un dispositivo que extraiga una parte importante del aceite suelto conseguido en el batido.



Figura I-4: Batidora horizontal de un cuerpo.

I.7.4.- SEPARACIÓN DE FASES.

Una vez batida la masa se procede a la separación de fases, utilizándose dos procedimientos: presión o centrifugación [Cegarra y Paredes 2008]. El primero de ellos es conocido como *método tradicional*, mientras que el segundo tiene dos metodologías diferentes, sistema de tres fases y sistema de dos fases, siendo este último el más utilizado en España [Borja *et al* 2005].

I.7.4.1.- Separación de sólidos y líquidos por presión.

Históricamente es la presión el procedimiento más antiguo para extraer el aceite de la aceituna. Actualmente sólo se emplea este método en pequeñas almazaras (producción propia). Se utilizan prensas hidráulicas (figura I-5). La pasta preparada se coloca en capas finas sobre discos de material filtrante, denominados *capachos*. Los capachos se disponen unos sobre otros, en una vagoneta y van guiados por una aguja central. Este conjunto de vagoneta, aguja y capachos con su carga de pasta, constituye el *cargo* que se somete a cada operación de prensada, es, por tanto, un sistema discontinuo. La presión la recibe el cargo en la prensa hidráulica y es generada por el grupo de bombas hidráulicas agrupadas en la llamada caja de bombas.



Figura I-5: Prensa hidráulica de extracción del aceite.

La vagoneta, que se mueve mediante ruedas en el suelo o sobre raíles, es la que soporta la torre de capachos y pasta. Cuando el cargo está dentro de la prensa, el efecto del émbolo se aplica a la parte inferior de la vagoneta, comprimiendo el cargo contra el puente superior. La vagoneta, construida generalmente de fundición, va dotada de una taza con grifos para dar salida al mosto oleoso [Civantos 2008].

Desde que empieza a confeccionarse el cargo, los líquidos fluyen sobre la vagoneta y esta situación continúa cuando actúa la presión. Al principio es un mosto rico en aceite, el más suelto de la pasta preparada y por eso el de mayor calidad. Se recomienda conducirlos a la separación de caldos aparte de los que escurren con presiones más elevadas, del orden de los 40-50 kg/cm², porque la proporción del aceite en los mostos baja considerablemente y la acidez del aceite es más elevada.

El correcto agotamiento de los orujos supone un prensado correcto de las masas. Se pueden considerar como cifras correctas los valores próximos al 7% de aceite sobre materia seca.

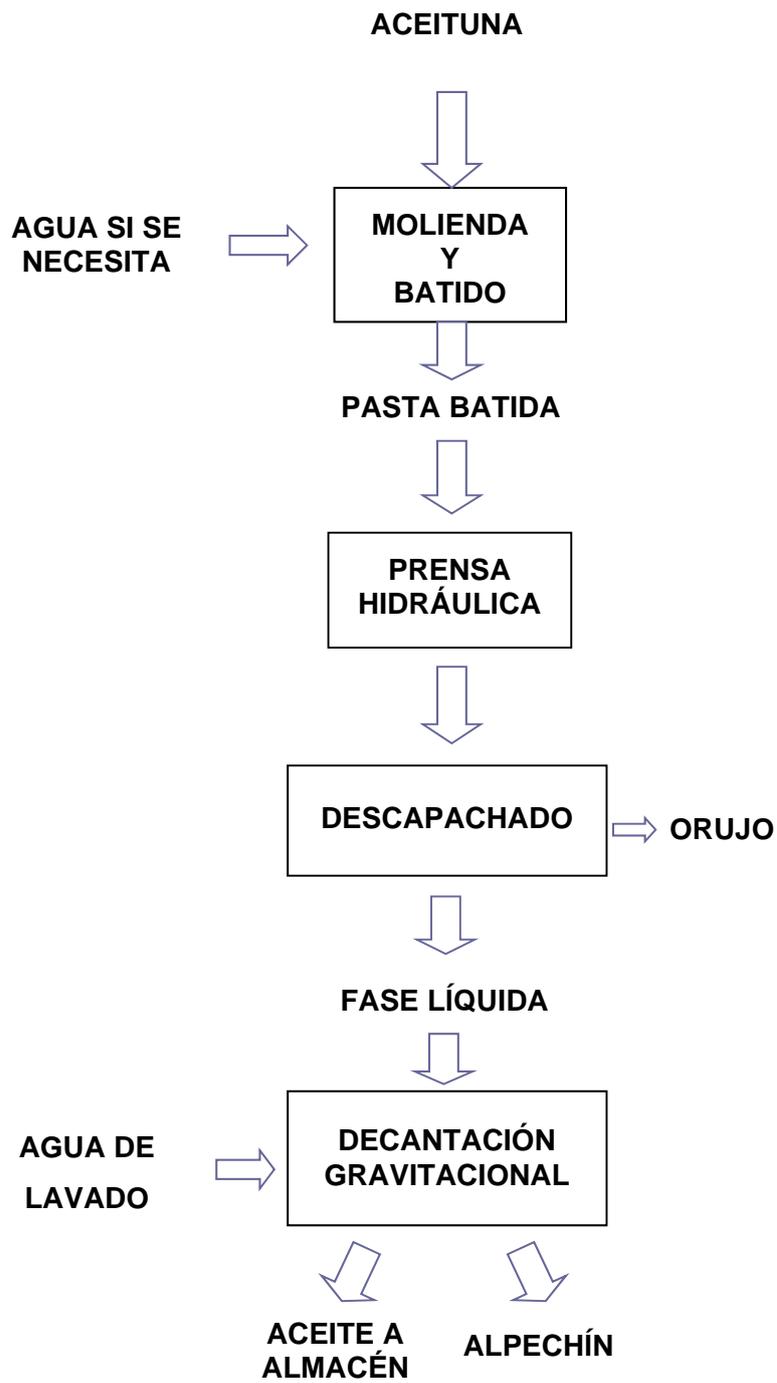


Figura I-6: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite por prensado.

I.7.4.2.- Sistema continuo de extracción en tres fases.

Bajo la denominación de sistema continuo de extracción de aceite de oliva, se agrupan aquellas instalaciones que realizan este proceso con una doble característica:

- Utilización de la centrifugación como agente licitador, fundamental tanto para la eliminación de los sólidos de la masa como para la posterior separación de las dos fases líquidas resultantes.
- Posibilidad de realización de estas separaciones de forma continua, sin detención de la maquinaria responsable del proceso, desde la entrada de la aceituna hasta el almacenamiento del aceite.

Su uso a nivel industrial se extiende a mediados de los años sesenta. La comercialización de los sistemas continuos integrales se retrasa algo más, hasta la puesta a punto de la tecnología precisa para la separación de los sólidos de forma continua, en la centrífuga horizontal o decánter. Presenta una serie de ventajas sobre el método tradicional: trabajo en continuo, mejor control del proceso, reducción de la superficie necesaria así como de la mano de obra [Roig *et al* 2006] y [Cegarra y Paredes 2008]. Como principal inconveniente presenta la necesidad de añadir agua para facilitar la separación de fases.

Los tres componentes de la masa de aceituna presentan distintas densidades, por ello en el interior de la centrífuga se verán sometidos a distintas fuerzas y ocuparán distintos anillos al someterse a su giro.

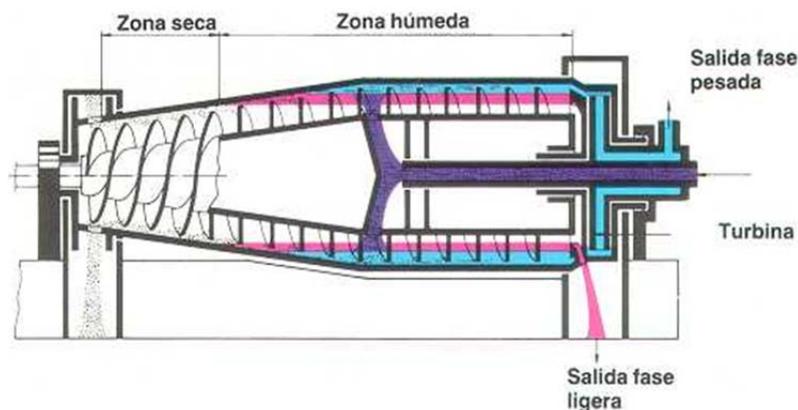


Figura I-7: Centrífuga horizontal (3 fases) para la extracción del aceite.

La masa fluidificada al someterse a la centrifugación sufre la separación de las tres fases por la diferente densidad de las mismas.

- El orujo, como elemento más pesado, con una densidad en torno a 1.200 kg/m^3 , sufrirá una fuerza mayor y ocupará la parte más alejada del eje de giro, es decir, el espacio más próximo a la pared del rotor.

- El alpechín, con una densidad en torno a 1.050 kg/m^3 , más ligero que el orujo pero más pesado que el aceite, ocupará un anillo a continuación del orujo.
- El aceite, con una densidad de 915 kg/m^3 , se verá obligado a ocupar el anillo más próximo al eje de giro.

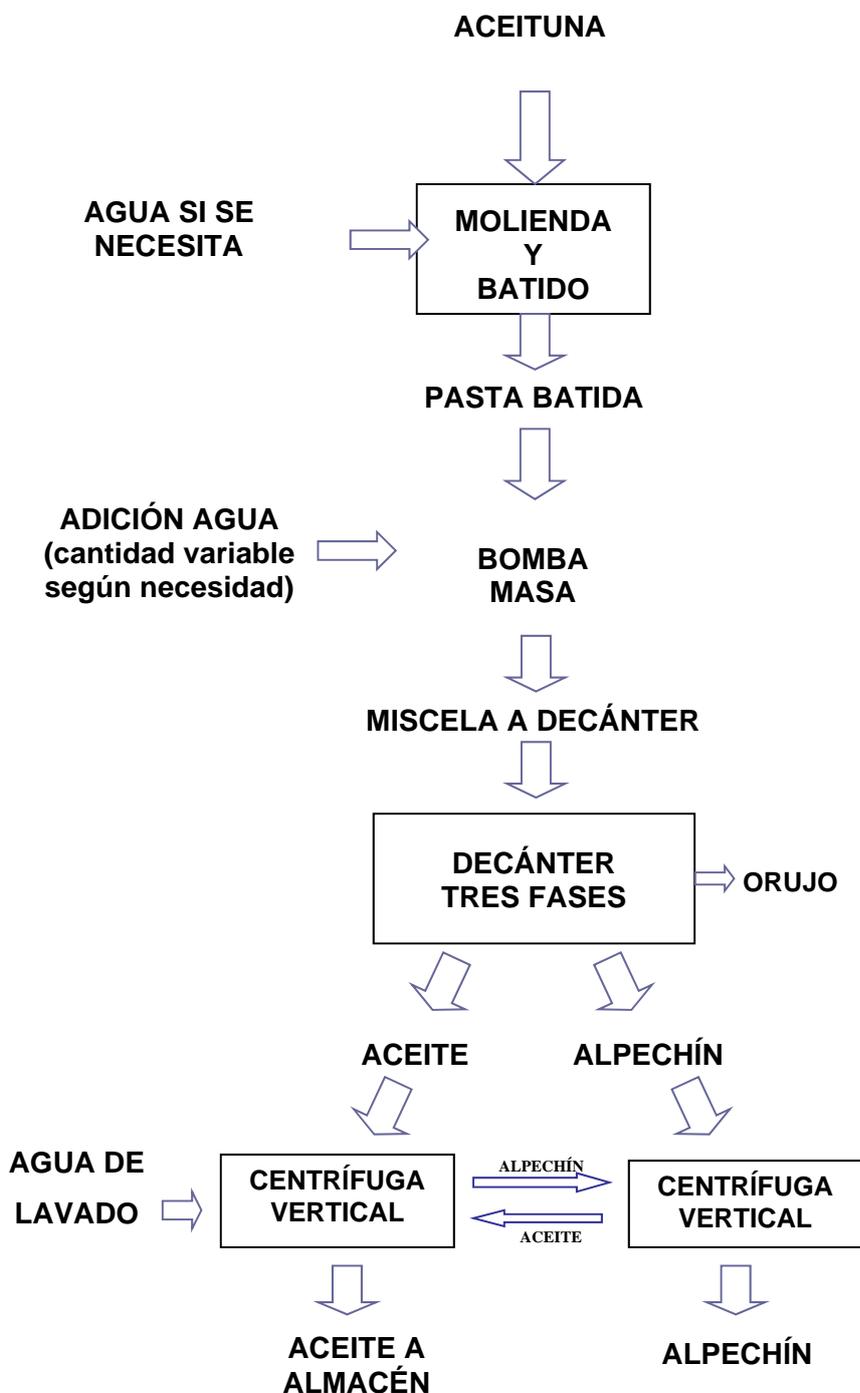


Figura I-8: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite en tres fases.

I.7.4.3.- Sistema continuo de extracción en dos fases.

En la campaña 1991-92 la marca Westfalia introdujo en algunas almazaras el método de separación en dos fases: una constituida por la mayor parte de los sólidos y toda el agua de la pasta (denominada alpeorujo o alperujo), y otra líquida, el aceite.

La principal aportación de este sistema es el hecho de que las necesidades de agua para fluidificar la pasta en el decánter son muy pequeñas o nulas, y también que desaparece prácticamente el vertido de alpechines, con fuerte componente contaminante y grave impacto medio ambiental. Otra consecuencia del bajo consumo de agua es el menor coste en calefacción con el consiguiente ahorro energético [Alburquerque *et al* 2004].

La valoración negativa viene fundamentalmente por parte de las extractoras de orujo que tienen que recibir una mayor cantidad con más humedad en comparación con el procedente del continuo de tres fases, y con características algo diferentes. Supone mayores gastos de transporte, de secado y otros ajustes en la extracción

El volumen de agua de lavado de la centrífuga vertical es escaso y con bajo poder contaminante, menos de la décima parte del valor DQO que el del alpechín producido en sistema continuo de tres fases. Puede ser reciclada para su utilización en las lavadoras.

Al no producirse alpechín en esta planta se elimina la centrífuga vertical destinada a este fin en las instalaciones tradicionales.

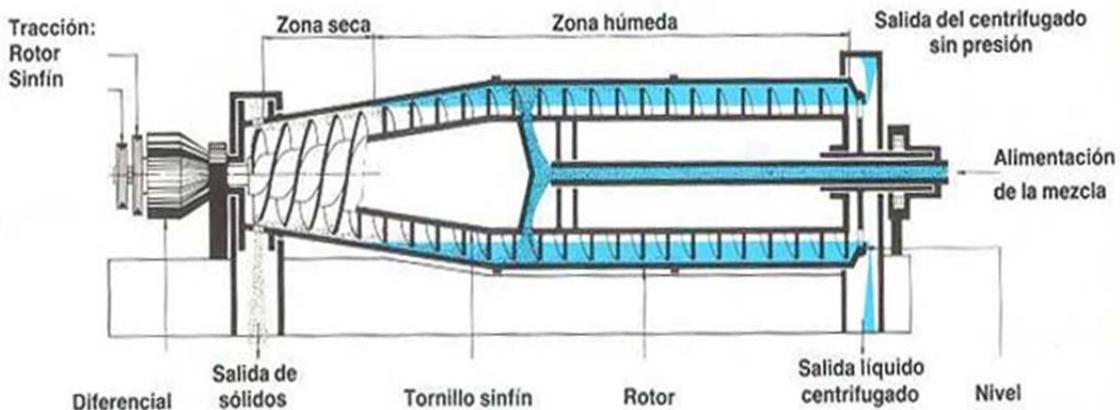


Figura I-9: Centrífuga horizontal (2 fases) para la extracción del aceite.

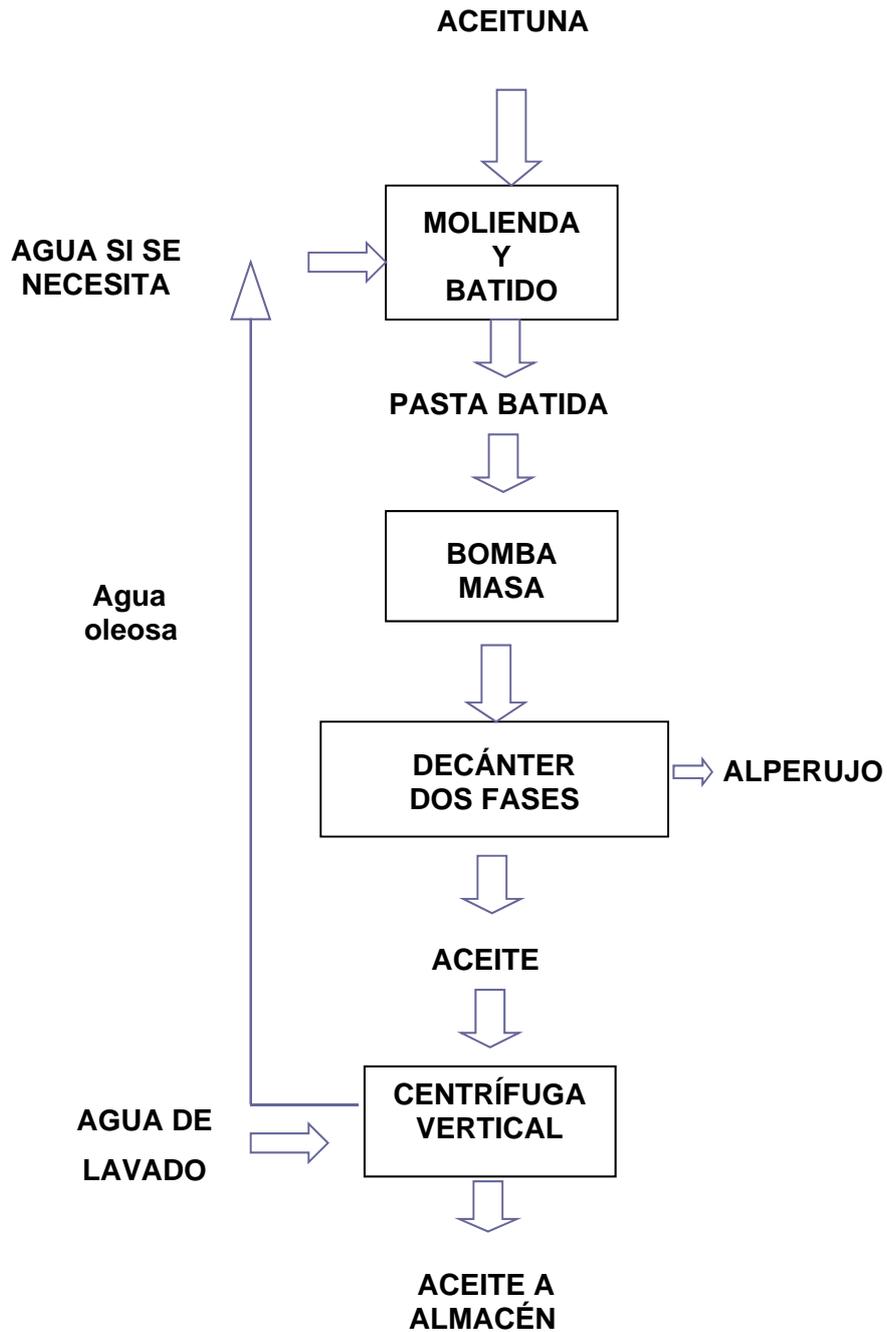


Figura I-10: Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite en dos fases.

I.8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS: ALPECHINES.

Los residuos líquidos que se generan en la industria oleícola reciben el nombre genérico de alpechines, si bien desde la aparición del sistema de dos fases también se denominan aguas de lavado. En este apartado se pretende describir las principales características de estos residuos líquidos.

I.8.1.- INTRODUCCIÓN.

Por alpechín se entiende el residuo acuoso proveniente de los procesos de transformación de la aceituna en aceite. Contiene el agua de la propia aceituna y las aguas de su lavado y procesado. Es un líquido de color negruzco y olor fétido que suele contener, en suspensión, restos de la pulpa de la aceituna, mucílagos, sustancias pécticas e incluso pequeñas cantidades de aceite, un 0,5% emulsionado de forma estable. El color del alpechín varía con el pH, siendo rojizo a pH ácido y verdoso en alcalino. Tiene sabor amargo y aspecto brillante.

El alpechín causa graves problemas cuando es vertido a los ríos y suelos. Representa un aporte de materia orgánica enorme, DQO entre 40.000 y 210.000 ppm y DBO₅ entre 10.000 y 150.000 ppm. Genera un film superficial en aguas y suelos debido al aceite presente y su toxicidad para la flora es notable. Otro de los problemas ambientales que produce, son sus efectos fitotóxicos, en especial para la germinación de las plantas, la caída prematura de los frutos y la senescencia de los vegetales. Un problema añadido en la depuración de los alpechines es la estacionalidad de su producción. Sólo se genera durante un periodo de cinco meses al año (de noviembre a marzo) que es el tiempo que dura la recogida y molturación de la aceituna.

Su degradación en la naturaleza es difícil básicamente debido a que contiene productos con poder antibacteriano.

Todas estas características han motivado por parte de la Administración (desde 1983) la total prohibición del vertido de los alpechines a los cauces públicos, facilitando la construcción de balsas o lagunas para su eliminación por evaporación natural.

Esta medida, aunque provocó otro tipo de contaminación medioambiental, por los problemas de malos olores y filtraciones en las balsas, hizo posible que la industria olivarera empezara a considerar como un gasto más del proceso de obtención de aceite de oliva virgen, la eliminación de las aguas residuales de las que son productoras, y por lo tanto, totalmente responsables.

I.8.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALPECHÍN.

Por ser un producto natural, su composición química es muy variable, no sólo por los distintos procesos mecánicos utilizados en la obtención del aceite de oliva, sino también por las variedades de aceitunas, tierras de cultivo, condiciones climatológicas, abonos, plagas, épocas de recolección, etc. El agua de constitución de la aceituna presenta como media, un 83-85% de agua, un 14-15% de sustancias orgánicas y un 1-2% de sustancias minerales.

La composición media de la materia mineral y orgánica del alpechín son las indicadas en las tablas 4 y 5.

Tabla I-4: Composición media de la materia mineral del alpechín.

Compuesto	Prensas (g/L)	Sistema de tres fases (g/L)
P	1,1	0,3
K	7,2	2,7
Ca	0,7	0,2
Mg	0,4	0,1
Na	0,9	0,3
Fe	0,07	0,02
CO ₃ ⁻²	3,7	1,0
SO ₄ ⁻²	0,4	0,15
Cl ₂	0,3	0,1
SiO ₂	0,05	0,02

Fuente: Instituto de la Grasa y sus derivados.

Tabla I-5: Composición química media de la materia orgánica del alpechín.

Componente	Prensas (g/L)	Sistema de tres fases (g/L)
Azúcares totales	2 - 8	0,5 - 2,6
Sustancias nitrogenadas	0,5 - 2	0,17 - 0,4
Ácidos orgánicos	0,5 - 1	0,2 - 0,4
Polialcoholes	1 - 1,5	0,3 - 0,5
Pectinas, mucílagos, etc.	1 - 1,5	0,2 - 0,5
Polifenoles	1 - 2,4	0,3 - 0,8
Grasas	0,03 - 1,0	0,5 - 2,3

Fuente: Instituto de la Grasa y sus derivados.

Uno de los componentes más conflictivos del alpechín son los productos fenólicos, que son responsables de tres aspectos negativos de estos vertidos: el poder antibacteriano, el poder fitotóxico y el color negruzco.

Las características del alpechín en relación con su poder contaminante [Fiestas 1990] son las reflejadas en la Tabla 6.

Tabla I-6: Características del poder contaminante del alpechín.

Característica	Prensas	Sistema de tres fases	Sistema de dos fases
pH	4,5 - 5	4,7 - 5,2	4 - 5
Materia seca (% Peso)	12,0	4,0	3,0
Materia orgánica (% Peso)	10,5	3,5	2,7
Materia Mineral (% Peso)	1,5	0,5	0,3
DQO (g / L)	120-130	45-60	23-30
DBO ₅ (g / L)	90 - 100	30 - 40	15 - 20

Fuente: Instituto de la Grasa y sus derivados.

I.8.2.1.- Alpechín de prensas.

En el sistema tradicional, al añadir sólo una pequeña cantidad de agua a lo largo del proceso, el volumen de alpechín generado no es muy grande aunque al ser un método más rudimentario que los actuales sistemas continuos, estos alpechines del sistema discontinuo de prensas se caracterizan por tener un alto poder contaminante (figura VII-11).

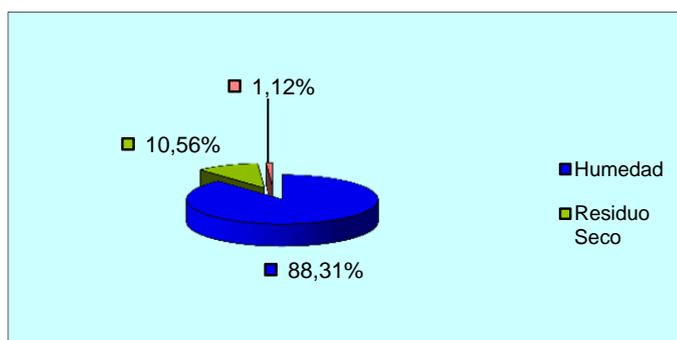


Figura I-11: Composición del alpechín de prensas.

I.8.2.2.- Alpechín del sistema de tres fases.

Las nuevas tecnologías utilizadas a partir de los 70 en las almazaras en el proceso de obtención del aceite de oliva, sustituyendo las prensas hidráulicas por la nueva técnica de centrifugación de masas, supuso un aumento en el volumen de alpechín producido, en torno a dos o tres veces el generado en prensas, debido a la necesidad de dar fluidez al proceso de centrifugación.

El poder contaminante del alpechín de 3 fases es menor que el de los sistemas discontinuos, se ha conseguido en las almazaras recuperar el aceite contenido en el alpechín, aunque el problema fundamental que presentó no fue su agotamiento, sino el volumen de residuo a tratar.

Analíticamente los resultados medios ponderados según diversos estudios realizados son los que aparecen en la figura I-12.

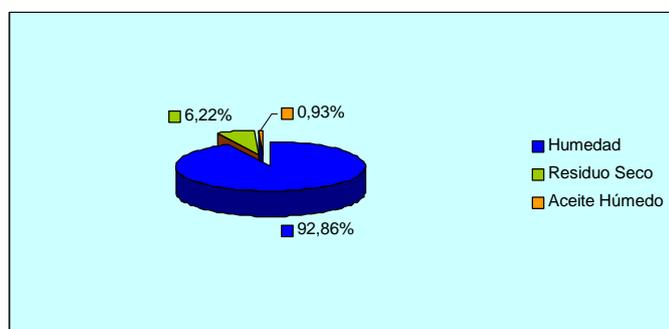


Figura I-12: Composición del alpechín de tres fases.

I.8.2.3.- Alpechín del sistema de dos fases (aguas de lavado).

El hecho de que las necesidades de agua para fluidificar la masa de alimentación, sean nulas o se reduzcan notablemente en el sistema de dos fases, lleva consigo una disminución drástica de la cantidad de alpechín producido, alrededor de un 65-70%.

La composición de esta alpechín (aguas de lavado) es muy diferente a los anteriores, como se observa en la figura I-13.

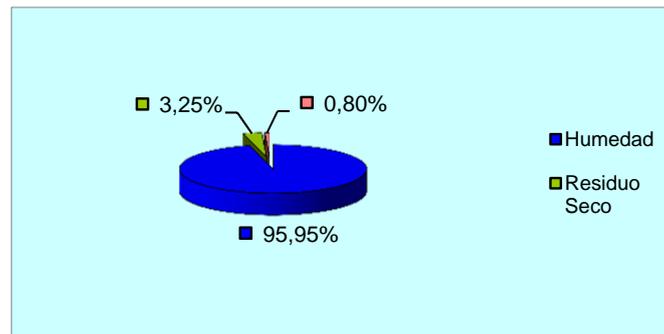


Figura I-13: Composición del alpechín de dos fases.

I.8.3.- IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DEL ALPECHÍN.

El impacto medioambiental del alpechín en los cauces de agua se debe a varias causas:

- Las partículas sólidas en suspensión se depositan con el tiempo en los lechos de los ríos, impidiendo la llegada del oxígeno necesario a los microorganismos allí presentes. Sólo perdurarán los microorganismos anaerobios que darán lugar a una fermentación anaerobia de la materia orgánica con el consiguiente desprendimiento de gases malolientes.
- La grasa emulsionada en el alpechín formará en el agua una película superficial, impidiendo su contacto con la atmósfera y, por tanto, la disolución de oxígeno en el agua, dificultando así mismo la penetración de los rayos solares. Estos fenómenos llegan a impedir el desarrollo de la vida animal y/o vegetal acuática.
- La fase de componentes disueltos (ácidos, polifenoles, iones metálicos, etc.) también disminuirá la capacidad de disolución de oxígeno en el agua.
- Así mismo, la presencia de polifenoles en el alpechín le confieren una elevada capacidad antimicrobiana que inhibe el desarrollo de la flora responsable de los procesos biológicos de autodepuración.

La alta DBO_5 del alpechín (50 g/L) contribuirá a consumir, como se ha dicho, el poco oxígeno que se haya podido disolver en el agua, eliminando la vida acuática del cauce donde se ha vertido.

De todo lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el alpechín produce diversos impactos medioambientales sobre los distintos medios bióticos. A continuación se resumen los más importantes.

IMPACTO SOBRE EL MEDIO ACUÁTICO.

Aguas superficiales.- Debido al gran poder de inhibición sobre el desarrollo de microorganismos, a la gran demanda biológica de oxígeno y a su enorme poder de tintura (basta 100 cm³ para teñir 1.000 L) las convierte en un medio no apto para la vida animal y vegetal.

Aguas subterráneas.- Las balsas de desecación son generalmente excavaciones en el terreno sin las mínimas condiciones de impermeabilización, dando lugar por filtración a la contaminación de los acuíferos de la misma forma que las aguas superficiales.

IMPACTO SOBRE EL MEDIO ATMOSFÉRICO.

En las balsas se produce una degradación del alpechín con el consiguiente desprendimiento de gases malolientes.

IMPACTO SOBRE EL MEDIO BIÓTICO.

El alpechín incide sobre la flora, la fauna y los microorganismos existentes en los cauces públicos de forma severa, y bajo determinadas situaciones de manera irreversible, debido a su alta demanda de oxígeno y elevada capacidad antimicrobiana, que como se ha indicado anteriormente inhibe el desarrollo de la flora responsable de los procesos biológicos de depuración.

IMPACTO SOBRE EL MEDIO SOCIO-CULTURAL.

Seguridad pública.- La existencia de las balsas de desecación puede favorecer la aparición de distintos insectos, los cuales actuarían como transmisores de enfermedades con repercusiones negativas para la sanidad tanto humana como animal. Así mismo, en todos aquellos casos en los cuales el transporte de los residuos generados en las almazaras no se realice a través de instalaciones fijas (tuberías, zanjas, etc.) se incrementan los riesgos de accidentes al mayor uso de las vías de comunicación por vehículos pesados.

Usos del suelo.- La necesidad de almacenar los considerables volúmenes de alpechín generados por cada almazara, da lugar a la existencia de balsas o piscinas de desecación en la mayoría de los núcleos urbanos en los cuales se ubican las almazaras, con el consiguiente coste económico y disminución de la superficie factible para otros usos.

Visuales y estéticos.- Las balsas de desecación, localizadas en las proximidades e incluso dentro de los núcleos urbanos en los cuales existen almazaras (la mayoría de los casos en la Comunidad Autónoma de Andalucía), inciden negativamente en el paisaje y en el entorno, generando posibles repercusiones negativas sobre diversas actividades económicas (turismo, etc.). Basta dar un recorrido por los pueblos olivareros y experimentar personalmente el aspecto lamentable y el olor fétido que desprenden las balsas de desecación.

I.9.- CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: ORUJOS.

Las nuevas tecnologías utilizadas en las almazaras en el proceso de obtención del aceite de oliva, sustituyendo las prensas hidráulicas por la técnica de centrifugación de masas, han colocado al sector de extracción de aceite de orujo en graves dificultades. Este sector se hallaba estructurado para procesar los orujos procedentes de prensas hidráulicas con una humedad entre el 25 y el 30%.

Estos nuevos procedimientos consisten en utilizar el sistema de centrifugación de masas en lugar del sistema de prensado, con lo que se obtenía, en principio, *aceite-orujo-alpechín* (sistema de tres fases); en este caso el orujo se obtenía ya con una humedad del 45%.

El aumento de la humedad en los orujos fue un duro golpe para el sector de las extractoras, obligando a reforzar las instalaciones de secado, aparte de la pérdida de grasa en los orujos. No obstante, el sector de las extractoras había dominado la situación.

Este proceso de tres fases tenía un problema: para dar fluidez al proceso de centrifugación había que añadir casi un litro de agua por cada kg de aceituna, con lo que los vertidos se triplicaban y, por lo tanto, se produjo un problema ecológico importante, al que se sumaba, sobre todo en Andalucía, la poca disponibilidad de agua.

Los fabricantes de maquinaria ofrecieron una solución a este problema con el sistema de dos fases, consistente en dejar los alpechines en el orujo, con lo que el orujo vino a tener entre un 65 y un 70% de humedad, trasladando el problema a las extractoras.

En resumen:

ORUJO DE PRENSAS.

El residuo sólido que queda en los capachos, presenta una humedad en torno al 30% y un contenido graso del 4%, lo que le convierte en subproducto adecuado para su tratamiento (secado y extracción de la grasa con disolventes orgánicos) en las extractoras de orujo (orujeiras).

ORUJO DEL SISTEMA DE TRES FASES.

El orujo contiene la mayor parte de los sólidos que se encuentran en la aceituna: piel, pulpa, hueso y almendra, además de una baja proporción de aceite. En este caso el orujo se obtiene ya con una humedad del 45% y, no supone un problema para la obtención de aceite en las extractoras.

ORUJO DEL SISTEMA DE DOS FASES.

Las características biológicas, físicas y químicas del alperujo son bastantes heterogéneas, debido a las distintas características del suelo, variedad de la aceituna y sobre todo del método de extracción. Según estudios realizados [Albuquerque *et al* 2004] las características son:

Tabla I-7: Principales características del alperujo.

Parámetros	Valor medio	Rango
Humedad (% en peso)	64,0	55,6 - 74,5
pH	5,32	4,86 - 6,45
CE (dS m ⁻¹)	3,42	0,88 - 4,76
COT (g kg ⁻¹)	519,8	495,0 - 539,2
Relación C/N	47,8	28,2 - 72,9
Nitrógeno Total (g kg ⁻¹)	11,4	7,0 - 18,14
P (g kg ⁻¹)	1,2	0,7 - 2,2
K (g kg ⁻¹)	19,8	7,7 - 29,7
Ca (g kg ⁻¹)	4,5	1,7 - 9,2
Mg (g kg ⁻¹)	1,7	0,7 - 3,8
Na (g kg ⁻¹)	0,8	0,5 - 1,6
Fe (mg kg ⁻¹)	614	78 - 1462
Cu (mg kg ⁻¹)	17	12 - 29
Mn (mg kg ⁻¹)	16	5 - 39
Zn (mg kg ⁻¹)	21	10 - 37

Fuente: Bioresour Technol.

Este orujo de dos fases o alperujo, presenta graves dificultades para su almacenamiento, transporte, secado por evaporación y extracción, debido al grado de humedad tan alto, entre un 65 y un 70%.

Las implicaciones técnicas que presenta en los diferentes procesos son:

1. El alto porcentaje de humedad imposibilita su apilamiento en la almazara, y puede llegar a bloquearla si no tiene resuelta la salida día a día de la producción.
En el caso del almacenamiento, se necesitan grandes balsas debido a su estado semilíquido. En el caso del transporte, éste debe hacerse con bañeras o cisternas con los consiguientes riesgos en la carretera por posibles derrames.
2. El tratamiento de estos orujos en su fase de secado es muy costoso, debido al bajo rendimiento de las instalaciones actuales, que deben cambiarse, no sólo en capacidad sino también en tecnología, puesto que los secaderos actuales, para lograr algo de capacidad, se ven obligados a aumentar las temperaturas, perjudicando la calidad del aceite que se va a extraer, con graves dificultades para su posterior proceso de refinación, y produciendo unos orujos que están más quemados que secados.
3. La extracción de estos orujos por disolventes, una vez que han sido secados, puede producir gravísimos problemas principalmente en la evaporación de los extractores, ya que el vapor puede crear zonas impenetrables en el orujo a evaporar dentro del extractor, con el consiguiente riesgo de explosión al descargar el mismo.
Los azúcares presentes, caramelizados por la temperatura alcanzada en la fase anterior, llegan a una concentración cercana al 20%, y obstruyen las celdillas que contienen el aceite, dificultando la extracción y mermando su rendimiento.
Además, este alto contenido en azúcar puede suponer altos riesgos en el proceso de evaporación de las extractoras por su caramelización, que puede aislar bolsas de hexano, con alto riesgo de explosión.
4. Refino. Se ha observado que el aceite se comporta normalmente en la neutralización, pero no así en los procesos de decoloración y winterización; en este último proceso se ha observado que se depositan una especie de gomas muy duras en las centrífugas, obligando a limpiarlas con una frecuencia tres veces superior que en los aceites normales.

I.10.- COMPARATIVA ENTRE LOS SISTEMAS DE DOS Y TRES FASES.

Dado que a día de hoy el sistema usado mayoritariamente es el sistema de dos fases, y que ha desplazado al sistema de tres fases en muy poco tiempo, se analiza a continuación una comparativa entre los dos métodos realizada en 1993 en la almazara experimental del Instituto de la Grasa de Sevilla.

Con el fin de establecer las ventajas e inconvenientes del sistema de centrifugación de dos fases con respecto al de tres fases, se han realizado ensayos comparativos en almazaras que han tenido en funcionamiento los dos sistemas de forma paralela, (Planta PIERALISI de la almazara Experimental del Instituto de la Grasa, 1.993).

Del conjunto de ensayos se han obtenido las siguientes conclusiones:

Pasta.

La adecuada preparación de la pasta en el sistema de dos fases, es el factor fundamental para obtener un buen rendimiento en la extracción del aceite. Esto se consigue, extremando la precaución en controlar operaciones como la trituración y el batido; en la primera, verificando las condiciones de trabajo, y en el segundo caso, examinando las adiciones de agua, la temperatura de trabajo y el empleo y dosificación de algún coadyuvante tecnológico.

Orujo.

El orujo procedente del sistema de dos fases, posee un aspecto y una textura totalmente diferente a los que presentan los orujos de los otros sistemas: sistema de prensas y sistema de tres fases. Ha cambiado su composición química y sus características físicas; ahora tiene una humedad superior al llevar incorporado el alpechín, en torno al 60%, además de un mayor contenido en azúcares, pectinas, resinas, etc. Todo esto reporta mayores gastos de transporte, secado, así como otros ajustes en la extracción del aceite de orujo.

Este orujo de dos fases tiene además unos valores de riqueza grasa sobre seco, ligeramente superiores a los correspondientes de un orujo de tres fases; esto es debido a que en el nuevo sistema se tiene un menor control sobre la eficacia de

funcionamiento. Al no salir alpechín del decánter y añadirlo al orujo, no se sabe en qué momento se ha incorporado a este último la interfase que en el sistema de tres fases se aportaba al alpechín y que tiene un alto contenido en aceite.

Alpechín.

Con relación a la producción de alpechines, el nuevo sistema consigue una reducción del caudal del orden de un 65%-70%; el escaso alpechín producido se genera en la centrífuga vertical al adicionar una pequeña cantidad de agua caliente (aproximadamente a 30° C), para poder realizar una mejor separación y obtener un aceite más limpio.

Aceite.

En cuanto a las características de los aceites, ambos tipos son similares en cuanto a parámetros físico-químicos y características organolépticas, pero destacar un mayor contenido en polifenoles en el nuevo aceite de dos fases, que se traduce en una mayor estabilidad y mejor conservación de los caracteres organolépticos y analíticos con respecto al tiempo.

Conclusiones.

Este nuevo sistema de centrifugación de dos fases presenta las siguientes ventajas:

- Disminución del consumo de agua potable.*
- Ahorro energético (un 20%) al disminuir los procesos de calentamiento del agua.*
- Incorporación de los alpechines al orujo, eliminándose la mayor parte de los efluentes líquidos de la almazara.*
- Enriquecimiento del orujo con el aceite y la pulpa que salían en el vertido de alpechines.*

Por el contrario, el sistema de dos fases presenta algunos problemas:

- Un orujo con mayor grado de humedad y plasticidad, además de un agotamiento graso ligeramente inferior al conseguido en tres fases.*
- Orujos de distinta consistencia y estructura, lo que implica modificaciones en su manejo y en las industrias que trabajan con este producto.*

- *Manejo de las máquinas minuciosamente controlado mediante el análisis en laboratorio de la humedad de la aceituna y del rendimiento graso sobre materia seca del orujo, debido a que son menos evidentes los controles visuales, al desaparecer una regulación importante como es el agua de inyección al decánter.*

Respecto a este informe comparativo, habría que considerar otros inconvenientes que presenta el sistema de dos fases y a los que no se hace mención.

Debido a la disminución del rendimiento en aceite del sistema de dos fases frente al de tres fases, las almazaras resuelven este inconveniente efectuando lo que se denomina REPASO, que consiste en someter a la masa desengrasada a una segunda centrifugación en dos fases para recuperar parte del aceite. Para realizar este repaso con rendimientos aceptables, es necesario fluidificar la masa, lo que se suele hacer añadiendo parte del agua de lavado del aceite de la primera extracción. El resultado final es que el orujo de dos fases resultante, alperujo, presenta una mayor humedad con el consiguiente perjuicio para las empresas extractoras de aceite de orujo.

Un factor muy importante derivado del incremento de la humedad del residuo sólido es la disminución del precio que las extractoras pagan por el alperujo, llegando en ocasiones a cobrar (al menos el transporte hasta la orujera) a la almazara. Por lo tanto, el orujo de tres fases que era una fuente de ingresos para las almazaras (subproducto) pasa a considerarse como un residuo en el sistema de dos fases.

Otro problema añadido debido al aumento de la humedad del alperujo (repasado o no) es la dificultad en el transporte, que debe realizarse en camiones cisterna debido a su fluidez, o en camiones bañera a media carga para evitar posibles derrames, con el consiguiente encarecimiento de dicho transporte.

Debido al aumento sustancial de la humedad en el alperujo, en las extractoras de aceite de orujo han tenido que modificar el sistema de secado, bien aumentando la capacidad de tratamiento o bien aumentando la temperatura de secado. La solución mayoritariamente adoptada por las orejeras fue aumentar la temperatura lo que llevo a la aparición de sustancias tóxicas (benzopirenos) en el aceite de orujo.

II.- ESTADO DEL ARTE.

II.1.- INTRODUCCIÓN.

La elaboración del aceite de oliva virgen tuvo escasas innovaciones tecnológicas hasta principio de los años setenta en el siglo XX, realizándose por el sistema tradicional de prensas y capachos, en la mayoría de las ocasiones en pequeñas empresas familiares. Los residuos líquidos de escaso caudal, se perdían en los campos y/o eran vertidos directamente a los cauces públicos donde el proceso de autodepuración de los ríos bastaba para la eliminación del alpechín.

El problema de los vertidos se incrementó a partir de la introducción del sistema continuo de tres fases, de progresivo éxito debido a su simplificación mecánica, eliminación de capachos, elaboración continua y escasa necesidad de personal. El nuevo sistema, basado en la centrifugación de pastas, tenía como principal novedad la sustitución de la prensa por el decantador centrífugo horizontal o “decánter”. La necesaria fluidificación de la pasta en la centrifugación, para facilitar la separación de las tres fases constituyentes, aceite, orujo y alpechín, produce un vertido de alpechín cuya cuantía está en función del caudal de agua de adición al decánter, pero siempre duplicando al menos los generados mediante el sistema tradicional de prensas.

El elevado poder contaminante del alpechín y la promulgación del Real Decreto 3499/81 de 4 de diciembre en el que se arbitraban las medidas para evitar la contaminación de los ríos de la Cuenca del Guadalquivir por residuos de almazaras, y la Orden de 9 de junio de 1982 por la que se dictaban normas complementarias para la aplicación del mencionado Decreto, estimuló la evolución de las técnicas de centrifugación con el fin de conseguir sistemas que produjeran el menor caudal posible disminuyendo la fluidificación de las pastas.

Como resultado de ello, en la campaña 1.991/92 se introdujo a nivel experimental un nuevo sistema de centrifugación, de dos fases, cuya característica principal radica en la no adición de agua al decánter y, por lo tanto, una considerable reducción de la cantidad de líquidos residuales producidos durante el proceso, obteniéndose por un lado el aceite y por otro lado el orujo, que contiene la mayor parte de los sólidos y todo el agua de la pasta, razón por la que también recibe el nombre de alperujo. Lejos de solucionar el problema medioambiental creado por las almazaras, lo que hace este método es trasladarlo a la fase sólida, por lo que surgen multitud de sistemas de tratamiento y depuración para este residuo.

A continuación se describe algunos de los sistemas de tratamiento que se han estudiado tanto para los residuos líquidos (alpechines) como sólidos (alperujos).

II.2.- SISTEMAS DE DEPURACIÓN DE ALPECHINES.

Son numerosos los sistemas de depuración y tratamiento propuestos para los residuos líquidos producidos en las almazaras, fundamentalmente antes de la aparición del sistema de dos fases.

Debido a la elevada carga contaminante del residuo, en general, no es suficiente una única fase de tratamiento, sino que se requieren dos o más tratamientos lo que hace más compleja la instalación de depuración.

A continuación se hace una breve descripción de distintos sistemas ensayados en dicho tratamiento:

- Balsas de evaporación.
- Procesos biológicos:
 - Depuración Integral del Alpechín: Anaerobia-Aerobia y Físico-Química.
 - Obtención de biomasa proteica.
- Procesos físicos de concentración por ultrafiltración y ósmosis inversa.
- Depuración por vía química.
- Evaporación forzada.
- Hidrobomba eólica.
- Incineración.
- Riego de terrenos de cultivo.
- Electrocoagulación.
- Procesos de oxidación avanzada.
 - Oxidación con el reactivo de Fenton.
 - Fotocatálisis.
 - Ozonización.
 - Oxidación húmeda.
 - Oxidación supercrítica.

II.2.1.- BALSAS DE EVAPORACIÓN.

Este método fue propuesto por la Dirección General de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (1982) para evitar el vertido de alpechines a los cauces públicos. Se basa en la evaporación natural del alpechín en balsas al aire libre.

Las principales dificultades observadas en la aplicación de este método son:

- Necesidad de disponer de grandes superficies, a ser posible cerca de la almazara para evitar el transporte del alpechín hasta la balsa. Intentando cuando fuese posible enviarlo mediante una canalización o manguera.
- Producción de malos olores (fermentación aeróbica y anaeróbica de la materia orgánica contenida) y presencia de insectos.
- Peligro de filtraciones en el subsuelo, que puedan originar contaminación de los acuíferos subterráneos.

II.2.2.- PROCESOS BIOLÓGICOS.

Existen dos procesos muy estudiados en el proceso de depuración de alpechines.

DEPURACIÓN INTEGRAL DEL ALPECHÍN: ANAEROBIA-AEROBIA Y FÍSICO-QUÍMICA.

Este método se fundamenta en la aplicación sucesiva de cuatro procesos [Fiestas *et al* 1979] y [Escolano 1987]:

- Bioconversión.
- Biometanización.
- Tratamiento biológico aerobio.
- Tratamiento físico-químico.

Con la *bioconversión* se consigue recuperar el aceite de oliva emulsionado en el alpechín y eliminar los compuestos fenólicos que dificultan los tratamientos para la depuración de esta agua residual por vía biológica.

El proceso de *biometanización* o de depuración anaerobia implica la rotura de las moléculas orgánicas hasta su transformación en metano y anhídrido carbónico [Borja *et al* 1993].

Con el fin de reducir el aún elevado valor de la DQO del efluente anaerobio obtenido de la biometanización, se aplica un *tratamiento aerobio* que consigue llegar a valores menores de la DQO, en torno a 400-500 ppm.

Por último, para eliminar la coloración del líquido resultante de la fase aerobia y al mismo tiempo para reducir más la DQO, se aplica un *tratamiento físico-químico* donde se pueden alcanzar valores de la DQO menores de 200 ppm.

Han sido numerosas las experiencias consistentes en aplicar en el tratamiento del alpechín los clásicos procesos de depuración por vía biológica, observando que el principal inconveniente, para obtener buenos resultados, es la elevada concentración de compuestos de naturaleza fenólica que se caracterizan por su elevado efecto antimicrobiano.

Además, al realizarse el proceso de biometanización se obtiene, aparte del biogás, un efluente que aún contiene el 20% de la materia orgánica del alpechín y con la misma coloración, por lo que, como se ve, son necesarios posteriores tratamientos para conseguir una depuración integral.

OBTENCIÓN DE BIOMASA PROTEICA.

El proceso para la utilización del alpechín como medio para el desarrollo de levaduras aptas para la alimentación [Hodaifa 2004], presenta el inconveniente de ser estacional frente a otros similares, cuyo funcionamiento es continuo. Además, con este procedimiento se obtiene un efluente homogéneo con una fuerte actividad antibiótica que impide o dificulta su posterior biodegradación.

Estos dos métodos basados en procesos biológicos, además, son lentos por lo que necesitan operar con grandes volúmenes de almacenamiento para su reacción biológica.

II.2.3.- PROCESOS FÍSICOS DE CONCENTRACIÓN POR ULTRAFILTRACIÓN Y ÓSMOSIS INVERSA.

La utilización de los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa al tratamiento de aguas residuales, para separar compuestos de posible interés o eliminar la fracción contaminante, se lleva utilizando desde hace años [Boari *et al* 1980] y [Reimer 1983].

Estos procesos realizan la separación de las sustancias disueltas de acuerdo con el tamaño de sus partículas o incluso de su carga eléctrica, como es el caso de la electrodiálisis. Como medio para llevarlo a cabo se utilizan membranas porosas de diámetro diferente.

Estas técnicas difieren de las técnicas de separación entre fases como la decantación, centrifugación o filtración, en que la separación se lleva a cabo entre sustancias que forman una sola fase, es decir, todas en disolución.

Los problemas de estos métodos estriban en la necesidad de pretratamientos del agua residual para evitar el entrapado de las membranas, especialmente en el caso del alpechín por contener sustancias que actúan como agentes impermeabilizantes e hidrorrepelentes, que polarizan las membranas e impiden su correcto funcionamiento. También hay que tener en cuenta el denominado rechazo (% de residuo líquido concentrado) que es elevado, en torno al 30-40%.

II.2.4.- DEPURACIÓN POR VÍA QUÍMICA.

Este sistema responde básicamente a una secuencia de tratamientos químicos automatizados, con reactivos oxigenantes y compuestos de cloro [Trainalba 1995]. Posteriormente, los productos de reacción son sometidos primero a tratamientos de desaceitado; después a aireación que complete una oxidación residual y liberación de gases u oxidación de compuestos orgánicos tóxicos; por último una filtración para la liberación y recogida de la fracción sólida del alpechín.

La fase final del proceso lo constituye una filtración por carbón para eliminar los compuestos minerales y orgánicos contaminantes. Mediante un tratamiento opcional se podría proceder a la desecación de lodos y a la desalinización o desmineralización de la fase líquida, en caso de pretender utilizar el efluente resultante en algún proceso que necesite agua con muy baja concentración en sales.

Los principales inconvenientes de este tipo de sistema son el alto coste unitario así como el elevado tiempo de residencia para conseguir grados de depuración aceptables.

II.2.5.- EVAPORACIÓN FORZADA Y CONCENTRACIÓN TÉRMICA.

Sistema consistente en una evaporación multietapa (doble efecto), calentado por vapor con circulación forzada en contracorriente con precalentador [Lara *et al* 1990] y [Valenzuela 1986]. Por tanto, en esencia, supone concentrar el alpechín por evaporación de la mayor parte del agua que contiene, con lo que se produce una melaza y una corriente de agua.

El alpechín, previamente calentado, se introduce en un evaporador, donde se concentra por medio de vapor vivo. Generalmente se recupera en el proceso el calor de condensación del vapor de agua procedente del alpechín e incluso su parte de su calor sensible, lo que permite atender ciertas necesidades energéticas de la almazara.

Este método de concentración térmica en el tratamiento del alpechín ha sido desarrollado por varias empresas e instalado en diferentes almazaras, presentando serios inconvenientes en su funcionamiento [Trainalba 1995]:

- Necesidad de paradas frecuentes, que inciden fundamentalmente en el descenso del rendimiento estacional de la caldera generadora del vapor vivo. Además, los gastos de mantenimiento son muy elevados debido a la necesidad de eliminar las incrustaciones de caramelo y calcáreas que se producen en los evaporadores, que son la causa de las paradas de la planta, mediante adiciones de ácidos o bases.
- El agua obtenida al concentrar el alpechín, mantiene un pH entre 4 y 4,5 y un DBO₅ superior a 4.000, aunque haya sido decolorada.
- Debido a la acidez del agua recuperada, y teniendo en cuenta las condiciones de operación de la planta, todos los elementos en contacto con el alpechín deben ser construidos en acero inoxidable o materiales resistentes a estas condiciones de operación.
- Existencia de olores en el agua recuperada por evaporación. Si este agua se reciclase nuevamente al proceso de obtención del aceite influiría en su calidad.

Las empresas fabricantes de plantas evaporadoras introdujeron algunas mejoras, mediante la adición de desincrustantes y antiadherentes que permitían prolongar el tiempo de operación sin tener que realizar paradas para su limpieza, pero en ningún caso consiguieron eliminar la formación de incrustaciones ni prescindir de la utilización de productos químicos.

II.2.6.- HIDROBOMBA EÓLICA.

Este procedimiento consiste en un dispositivo, como un molinillo de viento, que aprovechando la energía eólica, proyecta con sus aletas en el proceso de giro el alpechín difuminándolo sobre la superficie de la balsa de evaporación, logrando un doble efecto, aumentar la superficie de evaporación y romper la interfase oleosa formada entre el agua y el aire que dificulta la evaporación del agua del alpechín de la balsa [Trainalba 1995]. Introduce una mejora en el proceso de evaporación natural en las balsas pero no solventa sus principales inconvenientes.

II.2.7.- INCINERACIÓN.

Es un proceso que consiste en la eliminación del alpechín por evaporación del agua y combustión de la sustancia orgánica [Trainalba 1995]. Se realiza mezclando el alpechín nebulizado con los gases de combustión procedentes de un horno donde generalmente se utiliza como combustible, orujillo o hueso de aceituna, aunque existen instalaciones que emplean gasóleo C.

Este método presenta un alto coste energético debido a la necesidad de evaporar gran cantidad de agua, que es altamente contaminante por la emisión a la atmósfera de todos los residuos generados en el proceso de combustión. Además no contempla la recuperación del agua ni de la materia orgánica contenida en el alpechín.

II.2.8.- RIEGO DE TERRENOS DE CULTIVO.

La aplicación directa del alpechín al suelo ha sido estudiada por diversos investigadores, obteniendo tanto resultados positivos como negativos [Roig *et al* 2006] y [Paredes *et al* 1999].

En el aspecto positivo destaca el elevado contenido en potasio y en materia orgánica, así como las cantidades de fósforo, calcio y magnesio. Su inconveniente principal reside en la elevada salinidad del alpechín y el bajo pH, que puede ocasionar una concentración muy alta de sales y acidificar el suelo [Levi-Minzi *et al* 1992] y [Ordoñez *et al* 1996]. Además, su abundancia en polifenoles y la presencia de ácidos grasos volátiles puede ejercer una acción fitotóxica sobre las raíces de las plantas que se cultivan en el terreno.

En Andalucía, se ha establecido recientemente (Decreto 4/2011 de 11 de enero y Orden de 18 de febrero de 2011) que la cantidad que se puede regar no deberá superar los 50 m³/ha y año, con aplicaciones que, en todo caso, deben evitar escorrentías superficiales.

Como áreas de exclusión, la norma fija las situadas:

- A menos de 500 m respecto a núcleos urbanos.
- A 100 m respecto de los cauces fluviales.
- Y otros 100 m de las zonas de servidumbre de protección del dominio público marítimo-terrestre, salvo que la aplicación de estos efluentes se realice mediante fertirrigación (técnica de aplicación de abonos disueltos en el agua de riego a los cultivos).

II.2.9.- ELECTROCOAGULACIÓN.

La electrocoagulación se define como un proceso en el cual las partículas contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, son desestabilizadas induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas, que actúan como electrodos, de diversos materiales, generando cationes metálicos, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados [Adhoun y Monser 2004].

Los factores más influyentes en la electrocoagulación son el pH, el tipo de contaminante y la concentración del mismo. El tamaño de burbuja, la estabilidad y tamaño del flóculo, influyen en el funcionamiento de la electrocoagulación. Los compuestos presentes pueden interactuar en la solución de varias maneras:

- 1- Electroforesis producida por la migración de los iones al electrodo de carga opuesta, que debido a la neutralización de la carga provocan la agregación de sólidos.
- 2- Los aniones hidroxilo (OH^-) hacen precipitar parte de los cationes en forma de hidróxidos.
- 3- El catión aluminio (Al^{+3}) interactúa con el hidroxilo para formar el hidróxido de aluminio, sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que presenta una gran área superficial con propiedades absorbentes y que propicia los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes y sirve de puente a la coagulación.
- 4- Los hidróxidos forman grandes estructuras de tipo reticular provocando un barrido a través del agua (coagulación de barrido).
- 5- Oxidación de contaminantes a productos menos tóxicos.
- 6- Clarificación por ELECTROFLOTATION y adherencia a las burbujas.

II.2.10.- PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA.

Los procesos de oxidación avanzada (POAs) son procesos de tratamiento terciario que están basados en la generación de especies fuertemente oxidantes [Glaze *et al* 1987].

La tecnología de los POAs trata de hacer frente a aquellas situaciones en las que el efluente residual posee una baja capacidad de ser oxidado, haciendo inviable su tratamiento térmico o bien un bajo nivel de biodegradabilidad, para el que la opción biológica no es viable.

Entre los POAs, aquellos que producen radicales hidroxilos ($\text{OH}\bullet$) son los que tienen más éxito, ya que esta especie es fuertemente oxidante (potencial de oxidación 2,8 V).

Las características más positivas más significativas de los POAs pueden resumirse en dos:

- Son capaces de llevar a cabo una intensa mineralización de los contaminantes orgánicos así como la oxidación, también de compuestos inorgánicos, hasta dióxido de carbono e iones como cloruros, nitratos, etc. [Legrini *et al* 1993] y [Gogate y Pandit 2004a].

- Reactividad no selectiva con la inmensa mayoría de compuestos orgánicos, lo que evita la producción de subproductos potencialmente tóxicos a partir de los contaminantes originales, que sí pueden originarse mediante otros métodos que no consiguen la oxidación hasta sus últimas consecuencias.

El principal inconveniente de los POAs es su elevado coste por el uso de reactivos caros (p.ej. ozono) y/o el elevado consumo energético.

El interés en aplicar este tipo de tratamientos a los residuos líquidos de la industria oleícola es reciente y supone una de las líneas de investigación en la que se han realizado más estudios en los últimos años, incluso como técnica de tratamiento de los residuos sólidos del proceso de dos fases.

OZONIZACIÓN.

En el tratamiento de las aguas residuales, el ozono tiene varias aplicaciones, entre las que destacan:

- Desinfección.
- Reducción de DBO₅ y DQO.
- Reducción de color y olor.
- Disminución de turbidez.

De todas estas aplicaciones, la que goza de mayor interés, aparte de cómo agente desinfectante, en clara competencia con el cloro, es la de reducción de la carga orgánica de aguas residuales (DBO₅ y DQO) [Beltran *et al* 2000].

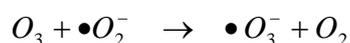
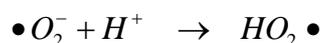
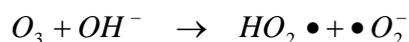
La utilización del ozono en los procesos de oxidación de la materia orgánica ha hecho que en los últimos años se multipliquen los trabajos orientados tanto a poner de manifiesto los mecanismos que siguen las reacciones que tienen lugar, como a conocer la cinética y la influencia de las variables de operación.

Este estudio es complejo por varias razones [García 2000]:

- El ozono siempre va acompañado por oxígeno, que interviene también como agente oxidante.
- El ozono no es estable en agua, descomponiéndose por reacción con radicales e iones presentes en ella, reacción que puede ser además catalizada por otros iones o radicales presentes en la disolución.

- Por tratarse de sistemas heterogéneos (líquido-gas), la velocidad del proceso depende simultáneamente de las velocidades de reacción química y de transferencia de ozono desde la fase gas a la fase líquida.
- El ozono reacciona no solo con las especies contaminantes, sino también con los productos de degradación susceptibles de ser oxidados.
- La concentración de muchos contaminantes individuales en las aguas suele ser muy baja, lo que obliga a disponer de métodos de análisis (cualitativos y/o cuantitativos) muy específicos.

Durante el proceso de ozonización, parte del ozono disuelto reacciona directamente con la materia orgánica en disolución con velocidades de reacción lentas. Simultáneamente, una parte importante del ozono se descompone antes de reaccionar con la materia orgánica. Esta descomposición está catalizada por aniones hidroxilo (OH^-), por lo tanto, será más rápida y en mayor grado cuanto mayor sea el pH, provocando la formación de especies muy reactivas con marcado carácter oxidante, entre las que destacan los radicales libres hidroxilo $\text{OH}\cdot$ e hidroperoxilo $\text{HO}_2\cdot$:



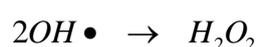
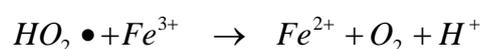
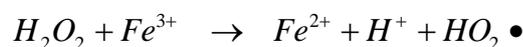
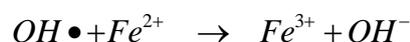
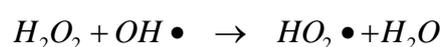
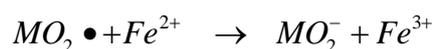
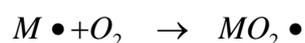
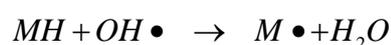
Esta descomposición del ozono puede ser acelerada por una reacción en cadena en la cual los radicales libres producidos (hidroxilo e hidroperoxilo) actúan como propagadores de la reacción.

REACTIVO DE FENTON.

Uno de los agentes oxidantes alternativos al ozono más interesante es el peróxido de hidrógeno, que presenta ciertas ventajas y algunos inconvenientes respecto al ozono. Entre las ventajas, destacar que es totalmente soluble en agua, no produce subproductos tóxicos o coloreados y es fácil de utilizar en los procesos de depuración. El principal inconveniente es que su poder de oxidación sobre la materia orgánica a temperatura ambiente no es muy elevado, siendo necesario el empleo de catalizadores como las sales de Fe^{2+} , Cu^{2+} , etc.

La combinación de peróxido de hidrógeno con iones Fe^{2+} se denomina reactivo de Fenton [Fenton 1894]. Haber y Weiss propusieron que la especie responsable de la oxidación en este sistema es el radical hidroxilo [Habert y Weiss 1934] y, posteriormente, Merz y Waters corroboraron este mecanismo y determinaron la cinética frente a diversos compuestos orgánicos [Merz y Waters 1947 y 1949].

El mecanismo de oxidación de compuestos orgánicos (representados por MH) utilizando el reactivo de Fenton es complejo, pero el proceso global transcurre a través de las siguientes etapas, sin incluir el ataque directo del peróxido de hidrógeno sobre la materia orgánica [Barb *et al* 1951] y [Walling y Weil 1974]:



ELECTRO OXIDACIÓN.

Dentro de los Procesos de Oxidación Avanzada, la electro-oxidación u oxidación electroquímica se utiliza en el tratamiento de aguas residuales conflictivas. La posibilidad de generar radicales hidroxilos $OH \bullet$ bajo ciertas condiciones de operación y utilizando electrodos específicos [Rodrigo *et al* 2001] y [Marselli *et al* 2003], dan la posibilidad de oxidar la materia orgánica hasta dióxido de carbono, sin consumo de reactivos químicos y evitando la generación de fangos [Panizza *et al* 2006].

En procesos de eliminación de carga orgánica mediante electro-oxidación u oxidación electroquímica, el agua residual a tratar circula atravesando un reactor heterogéneo, de tal forma que entra en contacto con los dos electrodos (ánodo y cátodo), donde se producen las correspondientes reacciones de oxidación (ánodo) y reducción (cátodo). La diferencia de potencial aplicada entre los electrodos genera una corriente eléctrica continua que es capaz de generar

radicales hidroxilo $\text{OH}\cdot$ en la superficie anódica y/o inducir la generación en el medio acuoso de especies de alto poder oxidante responsables de la oxidación la materia orgánica hasta dióxido de carbono como hipoclorito (ClO^-) o peroxodisulfato ($\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$), en función del anión precursor.

La elección del electrodo es el punto clave en los procesos de electro-oxidación. El diamante con boro es reconocido como un material idóneo en los procesos de eliminación de materia orgánica [Iniesta *et al* 2001] debido a su estabilidad anódica así como presentar eficiencias energéticas adecuadas bajo óptimas condiciones de operación [Panizza *et al* 2001].

Los principales inconvenientes de este proceso de tratamiento son:

- Uso de electrodos de baja eficiencia [Polcaro *et al* 2003].
- Altos costes de inversión.
- Elevado coste energético por unidad de volumen tratado [De Lucas *et al* 2002].

FOTO CATÁLISIS.

Entre los POAs, los que son capaces de aprovechar la radiación solar tienen especial interés, ya que se elimina una de las desventajas que tienen estos procesos, el consumo de energía mediante lámparas, ya que éstas son sustituidas por la radiación solar. De este tipo de procesos los más significativos son la fotocatalisis heterogénea con TiO_2 [Doménech *et al* 2004], fotocatalisis homogénea con reactivo de Fenton (foto-Fenton) [Bauer *et al* 1999]

Se define fotocatalisis solar como la aceleración de una foto-reacción química mediante la presencia de un catalizador.

El término fotocatalisis incluye un proceso en el cual se produce una alteración fotoquímica de alguna especie química como resultado de la absorción de radiación por otra especie fotosensible, que en este caso se trata del catalizador.

OXIDACIÓN HÚMEDA.

En el proceso de oxidación húmeda, los compuestos orgánicos e inorgánicos son oxidados en fase acuosa, con oxígeno o aire, en condiciones de alta presión y temperatura [López 1996]. La temperatura necesaria depende de la naturaleza del compuesto a degradar, variando entre 150 y 350° C y la presión entre 20 y 200 bar. El mecanismo de oxidación húmeda ha sido profundamente estudiado y tiene lugar por medio de un proceso de radicales libres.

Entre los compuestos que han sido catalogados como fácilmente oxidables por medio de oxidación húmeda están los compuestos alifáticos, cloruros alifáticos y compuestos aromáticos que no contengan grupos funcionales halogenados como fenoles o anilinas. Sin embargo, los compuestos que contienen grupos funcionales *nitro* son difíciles de degradar por este método.

OXIDACIÓN SUPERCRÍTICA.

La mezcla de la disolución contaminante y oxígeno (aire) en condiciones supercríticas (374° C y 221 bar) forma una única fase con lo que desaparecen las resistencias a la transferencia de materia [Bermejo y Cocero 2006]. El O₂ penetra en los poros más pequeños y puede oxidar a cualquier sustancia. La velocidad de reacción de oxidación es muy elevada debido a:

- La elevada temperatura.
- Ausencia de resistencia difusional.
- Generación de radicales hidroxilo OH• de gran poder oxidante.

En estas condiciones los contaminantes orgánicos se destruyen con una alta eficiencia de oxidación en tiempos de contacto muy breves que no requieren ningún tratamiento adicional de los productos finales gaseosos. Los productos de la oxidación son dióxido de carbono y agua, a excepción de los heteroátomos cloro, azufre, etc., que se transforman en los correspondientes ácidos o sales.

Los inconvenientes específicos de esta técnica son:

- La presencia en el residuo a tratar de grandes cantidades de sales inorgánicas presentes o que durante el proceso se forman, ya que el agua tiene un producto iónico muy bajo y las sales son insolubles en ella.
- La alta corrosión que tienen que soportar los materiales de construcción de los reactores debido a las severas condiciones de reacción.

En el apartado siguiente, debido a la aparición del sistema de dos fases, se describirán los principales tratamientos que se han desarrollado para el residuo sólido (alperujo) que se genera con esta técnica de obtención de aceite de oliva virgen.

II.3.- TÉCNICAS DE TRATAMIENTO APLICADAS AL ALPERUJO.

La introducción del sistema de centrifugación de dos fases para la obtención de aceite de oliva durante los inicios de los noventa ha conducido a la generación de un subproducto sólido procedente de las almazaras denominado alperujo.

Existen diversos estudios relacionados con el tratamiento del alperujo. A continuación se hace una breve descripción de los distintos sistemas más representativos:

- Obtención de aceite de orujo.
- Utilización como sustrato para la transformación biotecnológica.
- Sistemas físico-químicos aplicados al alperujo.
- Tratamiento biológico para fabricación de compost
- Producción de biomasa como recurso energético.

II.3.1.- OBTENCIÓN DE ACEITE DE ORUJO.

El aceite de orujo de oliva se obtiene a partir del orujo de aceituna, empleando procedimientos físicos y químicos [Alburquerque *et al* 2004] y [Hachicha *et al* 2008]. Las fases del proceso de obtención del aceite de orujo son: remolido, secado del orujo, extracción con n-hexano y filtración de la miscela (mezcla aceite - n-hexano). Posteriormente se separan las fases líquidas (aceite y n-hexano) condensando los vapores del disolvente para su reutilización. El subproducto sólido seco y extractado se denomina *orujillo* y constituye una excelente materia prima para su aprovechamiento energético.

El aceite de orujo obtenido no puede ser destinado directamente al consumo, sometiéndose previamente a un proceso de refinado, que puede realizarse por procedimientos físicos o químicos, según la forma de eliminar los ácidos grasos libres presentes en el aceite (destilación por arrastre de vapor de los ácidos grasos o neutralización con hidróxido sódico). Previamente se realiza el *desgomado*, que consiste en tratar el aceite con agua y ácido fosfórico con el fin de eliminar los fosfolípidos que se forman. Una vez neutralizado el aceite, se decolora haciéndolo pasar por sustancias absorbentes (tierras de diatomeas o carbón activo), continuando con el proceso de winterizado y descerado (enfriamiento del aceite a 5° C para separar los cristales de ceras formados por centrifugación o filtración).

Este método constituía una solución excelente para la valorización del orujo que se obtenía utilizando el sistema de tres fases (continuo o discontinuo), pero cuando se trata de alperujo, la excesiva fluidez ocasiona problemas en el manejo del mismo [Cegarra y Paredes 2008], tanto de almacenamiento (son necesarias balsas), como de transporte (necesidad de camiones cisterna, cambiar cintas transportadoras por tornillos sin fin, etc.), dificultades en la extracción de aceite (se produce caramelización de los azúcares presentes) y fundamentalmente, debido a las elevadas temperaturas necesarias para conseguir la humedad adecuada para proceder a la extracción del aceite, este proceso no constituye la solución ideal para el tratamiento del alperujo, debido a las alteraciones que sufre el aceite extraído. En este sentido, en el año 2001 surge la controversia de la detección de benzopirenos en el aceite de orujo (sustancias altamente

cancerígenas, que son hidrocarburos policíclicos aromáticos que se producen como residuos de combustiones incompletas de materiales orgánicos). El sector orujero sufre una importante recesión a partir de esa fecha. Sin embargo, el sistema mayoritario de extracción de aceite de oliva en España actualmente sigue siendo en dos fases.

II.3.2.- UTILIZACIÓN COMO SUSTRATO PARA LA TRANSFORMACIÓN BIOTECNOLÓGICA.

PRODUCCIÓN DE BIOMASA PARA LA ALIMENTACIÓN DE RUMIANTES.

El empleo de alperujo como ingrediente de dietas animales tiene un interés añadido dado el origen vegetal de estos subproductos [Álvarez-Rodríguez *et al* 2009]. Un aspecto innovador relacionado con la alimentación animal es el uso de las cenizas procedentes de la incineración del alperujo como ingrediente minero-vitamínico para la fabricación de piensos [Molina y Nefzaoui 1996].

Son varias las ventajas que presenta:

- El alperujo, cuyo uso en alimentación animal se propone es de origen vegetal y pueden representar una alternativa al uso de subproductos de origen animal.
- Representa una fuente alternativa de alimento para el ganado en zonas de cultivo del olivo que son, en toda la Cuenca Mediterránea, deficitarias en pastos naturales y en recursos convencionales.

Entre sus inconvenientes destacan su baja digestibilidad tanto de su materia orgánica como de la celulosa. Así mismo presenta una baja degradabilidad en el estómago del animal debido al contenido de lignocelulosa.

Las propiedades nutritivas del alperujo pueden aumentar si se fermenta con microorganismos sobre soporte sólido que producen enzimas y alimentos para ganado [Molina *et al* 2003].

OBTENCIÓN DE MANITOL Y PRODUCTOS DERIVADOS A PARTIR DE ALPERUJO.

El alperujo puede utilizarse como materia prima para la obtención de productos comerciales. El manitol se aplica en la industria farmacéutica por su actividad diurética, por lo que se utiliza como excipiente en sueros y dietas de enfermos con cálculos renales, excipiente de medicamentos, etc.

Uno de los procedimientos de obtención de manitol y productos derivados a partir de alperujo se realiza de la siguiente manera [García-Granados y Martínez-Nieto 1993]. El alperujo secado parcialmente se somete a un proceso de extracción con n-hexano con el fin de separar el aceite presente. A continuación el residuo sólido es sometido a otro proceso de extracción con solventes de polaridad intermedia (acetato de etilo, metanol, etc.), obteniéndose una solución rica en manitol y un residuo sólido. Esta solución se puede concentrar por evaporación y separar el manitol por cristalización una vez separado el solvente. Si se quiere obtener un producto más puro, se lleva la solución rica en manitol a sequedad, disolviendo el residuo en agua y añadiendo un agente defecante, normalmente acetato de plomo, con el fin de eliminar impurezas presentes por precipitación. Seguidamente se filtra y el filtrado se lleva nuevamente a sequedad, disolviendo el sólido obtenido en etanol para proceder a su posterior cristalización, obteniéndose manitol químicamente puro.

PRODUCCIÓN DE PHAs (POLIHIDROXIALCANOATOS). BIOPLÁSTICOS.

Otra alternativa para el aprovechamiento del alperujo es la producción de bioplásticos. Los PHAs son homopolímeros o copolímeros de hidroxialcanoatos, son creados directamente por microorganismos en unas condiciones favorables, siendo totalmente biodegradable [Cerrone 2011]. Entre los homopolímeros el más representativo es el polihidroxibutirato (PHB). Estos bioplásticos pueden ser moldeados, fundidos y conformados como los plásticos derivados del petróleo, y tienen la misma flexibilidad. Los PHAs han despertado interés tanto a nivel científico como comercial debido a que presentan propiedades similares a los termoplásticos convencionales y son completamente biodegradables [Lee 1996]. Son susceptibles de ser sintetizados mediante microorganismos bacterianos a partir de cualquier residuo orgánico por lo que el coste de materia prima es nulo

El principal inconveniente es que son demasiado caros para el empleo en botellas o en bolsas de plástico, pero la producción masiva podría abaratar los precios.

PRODUCCIÓN DE ENZIMAS, PECTINAS.

Dado que la materia más común a partir de la cual se extrae pectina son los orujos de diferentes residuos agrícolas, el alperujo se puede utilizar como materia prima para la obtención de pectina, compuesto de gran interés en la industria alimentaria ya que puede usarse como agente estabilizante, gelificante, y emulsionante [Cardoso *et al* 2003]. La extracción se realiza con agua acidulada normalmente a contracorriente.

PRODUCCIÓN DE ANTIOXIDANTES.

En la aceituna existe un gran número de compuestos fenólicos que presentan un elevado potencial antioxidante [Bianchi 2003] y [Ryan *et al* 2002]. Estos compuestos pasan en parte al propio aceite y también al alperujo. Mediante un proceso de extracción con líquidos sobrecalentados se obtienen antioxidantes como el hidroxitirosol y otros biofenoles que se ha demostrado que son buenos para enfermedades del corazón, cáncer y otras patologías como el Alzheimer o arterosclerosis.

PODER ANTIHONGOS.

Otra alternativa para el aprovechamiento del alperujo puede ser el considerar su poder antihongos, debido a su contenido de sustancias fenólicas, las cuales han demostrado este efecto.

Sin embargo, existen ciertos tipos de hongos que producen el fraccionamiento físico del alperujo y eliminan su fitotoxicidad, como los que se encuentran en los troncos de los árboles y que causan la podredumbre blanca de la madera (saprobios y arbusculares). Recientes estudios de este tipo de proceso corroboran que el tiempo de compostaje para los alperujos estabilizados con este tipo de hongos disminuye de forma sustancial (hasta el 80%) [Aranda 2006].

II.3.3.- SISTEMAS FÍSICO-QUÍMICOS APLICADOS AL ALPERUJO.

Se han probado diversos sistemas físico-químicos y también biológicos para el pretratamiento del alperujo [Garrote *et al* 1999] basados en los mismos procesos que se han intentado aplicar al alpechín. Los más significativos son:

PRECIPITACIÓN.

La precipitación es el proceso mediante el cual se transforma una sustancia soluble en agua en su forma insoluble mediante una reacción química. Adicionando álcalis como el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se produce la precipitación de diversas sales que arrastran a los sólidos en suspensión, por lo que se consigue una clarificación y depuración del alperujo. El agua residual obtenida pasa a procesos de tratamiento secundario como ultrafiltración, ósmosis inversa, carbón activo, etc.

OXIDACIÓN HÚMEDA.

La oxidación de sustancias orgánicas usando oxígeno se conoce con el nombre de oxidación húmeda. Este proceso tiene lugar a alta temperatura (120 - 300° C) y presión (10 - 200 bares). Aparte del oxígeno también se pueden utilizar otros agentes oxidantes como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el ozono (O_3). El uso del peróxido de hidrógeno se ha limitado debido a los

problemas de almacenaje. Sin embargo, el uso de ozono como agente oxidante ha ido en aumento ya que con este agente es posible degradar compuestos inorgánicos y otros recalcitrantes, así como eliminar bacterias y compuestos responsables del mal olor y del color tan característico del alperujo.

BALSAS DE EVAPORACIÓN.

Este método se utiliza para la eliminación parcial de la humedad del alperujo, normalmente antes de ser utilizado como combustible en las plantas de cogeneración de las que se tratará posteriormente.

II.3.4.- TRATAMIENTO BIOLÓGICO.

La adición directa del alperujo al suelo ha sido objeto de estudio de diversos autores, dadas las características agroquímicas del alperujo que dan a conocer su alto contenido de humedad, valores ligeramente ácidos de pH y un contenido elevado de materia orgánica, principalmente compuesta por lignina, hemicelulosa y celulosa. También presenta una proporción considerable de grasas, proteínas, carbohidratos solubles en agua y una parte de sustancias fenólicas. El gran contenido en potasio hace plantearse su alternativa como fertilizante orgánico [Ordóñez *et al* 1998] y [Romero *et al* 1998], aunque la baja concentración de nitrógeno, fósforo y micronutrientes hacen que sus propiedades no sean compatibles con requisitos agrícolas si no es corrigiendo estos defectos mediante la adición de correctores con el fin de mejorar sus parámetros [Ordóñez *et al* 1999]. Efectuando estas operaciones, el reciclaje como fertilizante a los suelos de cultivo puede ser una alternativa a los problemas que plantean los residuos sólidos de la industria oleícola.

Como principales inconvenientes se pueden citar el aumento de la salinidad del suelo, disminución del pH del mismo y la abundancia de polifenoles.

La acción de cierto tipo de microorganismos convierte el alperujo en compost constituyendo una alternativa viable para su aprovechamiento. A diferencia de otros residuos (lodos de depuradora, residuos sólidos urbanos), los procedentes del sector oleícola están exentos de metales pesados y organismos patógenos que pueden comprometer la salud pública. Este hecho hace que el compost procedente de los residuos vegetales sea idóneo para ser utilizado como enmienda orgánica o acondicionador del suelo.

COMPOSTAJE.

La definición de compostaje más aceptada es: descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos bajo condiciones controladas [Climent *et al* 1996] y [Soliva *et al* 2008].

El proceso industrial de compostaje comprende dos etapas [Climent *et al* 1996] y [Moreno y Mormeneo 2008]:

1.- Etapa bio-oxidativa, con elevada actividad de los microorganismos dada la elevada presencia de compuestos fácilmente biodegradables, produciéndose la mineralización de la fracción orgánica. Se puede dividir en tres sub etapas consecutivas: descomposición mesófila (< 40° C) en ella se produce la degradación de azúcares y aminoácidos, descomposición termófila (40 - 60° C) donde se degradan ceras, polímeros y hemicelulosa y por último descomposición mesófila de enfriamiento (< 40° C) donde se produce la degradación de las celulosas y ligninas.

2.- Etapa de maduración o estabilización, con menor actividad microbiana dado el agotamiento que se ha producido de los compuestos biodegradables. Se produce la polimerización y condensación de compuestos. El resultado final es el compost, que presenta unas características similares al humus [Insam y de Bertoldi 2007].

Cuando se añaden residuos para mejorar el proceso, se denomina co-compostaje, que para el caso del alperujo es fundamental si se quiere obtener un producto de calidad. La mezcla debe realizarse con materiales de baja humedad (para absorber el exceso de humedad del alperujo) y tamaño de partícula mayor (para facilitar la aireación). El típico proceso de co-compostaje del alperujo se realiza en las siguientes fases:

a- Mezcla con residuos vegetales de la zona. El alperujo procedente de la almazara se deposita en balsas para su almacenamiento. Se mezcla con hojas u otros residuos [Alfano *et al* 2008] y [Albuquerque *et al* 2006] en una proporción aproximada de 4:1 en peso (aproximadamente 50% en volumen).

b- Formación de pilas de fermentación aerobia. Se forman unas pilas o hileras longitudinales, con longitud variable, aunque deben guardar unas estrictas dimensiones en cuanto a su altura y ancho de pila, de modo que la aireación sea uniforme y pueda llegar a todas las zonas de la pila. La selección del sistema de aireación depende de la mezcla a compostar. En general, la aireación forzada de las pilas proporciona un buen suministro de oxígeno, a la vez que facilita el control de la temperatura, aunque puede crear canales preferenciales dando lugar a zonas de anaerobiosis. Las pilas pueden formarse a la intemperie, aunque en este caso, deben de ser protegidas y cubiertas con una lámina plástica, lona o tela y con una serie de orificios, que permitan

la circulación del aire. Sin embargo, con el fin de evitar la climatología de la zona donde se realiza el proceso, es preferible emplazar las pilas en sitios cubiertos.

c- Oxigenación y evaporación del alperujo. En este subproceso debe controlarse estrictamente la termogénesis activa, que es originada por toda una serie de grupos de microorganismos, que en condiciones idóneas de humedad, temperatura y oxígeno, utilizan la celulosa para satisfacer sus necesidades de carbono y energía.

Las pilas de fermentación se forman mecánicamente mediante una máquina especial apiladora-volteadora, denominada compostadora. Durante el proceso de compostaje se efectúan volteos periódicos y humectaciones cada 8 - 9 días.

VERMICOMPOSTAJE.

El vermicompostaje o compostaje con lombrices es un proceso de descomposición natural de la materia orgánica mediante la acción combinada de lombrices (grupo de las epígeas) y microorganismos en el que se obtiene un producto denominado vermicompost, lumbricompost o humus de lombriz [Fernández-Bayo 2008]. Es un proceso sin impacto ambiental y de costes de inversión, energéticos y mantenimiento bajos.

Este proceso permite la obtención de abonos orgánicos a partir de orujos (secos o húmedos) solos o mezclados con otros residuos orgánicos (lodos de depuradora, estiércol animal, etc.). El papel de las lombrices en este proceso es alterar la actividad microbiana (responsables de la degradación de la materia orgánica), bien de forma directa por el mucus que segregan o por sus excreciones, o indirectamente debido a la fragmentación de la materia orgánica a su paso por el interior de la lombriz, aumentando el área superficial donde se desarrolla la actividad microbiana [Moreno 2009].

Se pueden definir dos etapas en el proceso de vermicompostaje [Lores *et al* 2006]: una etapa activa donde los residuos son procesados por las lombrices, modificando el estado físico y la composición microbiana, y una segunda etapa de maduración donde son los microorganismos los responsables de la descomposición final del residuo.

Los principales factores que influyen en el proceso de vermicompostaje son [Fernández-Bayo 2008]: la naturaleza de los residuos orgánicos, temperatura, humedad, pH, aireación, densidad de población y control de depredadores de lombrices.

La normativa española que regula el uso de vermicompost como enmienda orgánica es el Real Decreto 824/2005 (Anexo 1, grupo 6) sobre fertilizantes, donde se regula los requisitos de los productos fertilizantes, constituidos total o parcialmente por residuos orgánicos biodegradables. La definición que se da del vermicompost es: *producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión de lombrices, bajo condiciones controladas*. En 2008, se ha modificado el Real Decreto con la Orden APA/863/2008 sobre los límites admisibles respecto al contenido en materia orgánica.

Respecto al tratamiento biológico del alperujo, no cabe duda que puede ser uno de los métodos más interesantes para resolver el problema que plantea el alperujo, tanto desde el punto de vista económico como técnico. La aplicación sobre los suelos provoca una serie de efectos beneficiosos sobre los mismos como aumento de la porosidad, mejor permeabilidad y aireación, aumento de la capacidad de retención de agua, aumento de los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, etc., aunque también puede presentar efectos adversos como la adición de compuestos fitotóxicos (fenólicos) al suelo, mayor pérdida de nutrientes por lixiviación, etc. Sin embargo, el mayor inconveniente podría ser la enorme cantidad de producto que se obtendría si se tratara todo el alperujo que se genera, por lo que sería imprescindible un estudio de mercado para saber si se puede dar salida a este tipo de fertilizantes agrícolas.

II.3.5.- PRODUCCIÓN DE BIOMASA COMO RECURSO ENERGÉTICO.

Una de las fuentes energéticas alternativas más atractiva es la biomasa derivada de los cultivos vegetales. En la actualidad se trabaja sobre tres grandes grupos de cultivos. Por un lado las oleaginosas, cuyos aceites son susceptibles de ser transformados en esteres metílicos o etílicos, utilizables como complemento del gasóleo de automoción. En segundo lugar los alcoholígenos, y por último están los productores de biomasa lignocelulósica como puede ser el subproducto procedente de las almazaras, el alperujo.

Existen diferentes formas de utilización de los residuos de almazara para su aprovechamiento energético.

- Combustión directa del orujillo para generar energía eléctrica y/o térmica [Caputo *et al* 2003]. Este sistema es el que empleaban las orujeras con el residuo sólido proveniente del sistema de tres fases. Con el sistema de dos fases, se suele aprovechar los humos de combustión y corrientes residuales de baja entalpía para secar el alperujo.
- Generación de energía eléctrica mediante ciclos de vapor a partir de orujillo y alperujo [Cegarra y Paredes 2008].

- Cogeneración con turbina de gas a partir de alperujo.
- Gasificación del orujillo, alperujo seco o hueso de aceituna para la obtención de gas sintético (mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno).
- Producción de biogás por digestión anaerobia del alperujo [Morillo *et al* 2009].

Es sin duda el sistema de cogeneración el más implantado, siendo las propias compañías eléctricas las que se han interesado en este estudio, realizándose múltiples instalaciones, distribuyéndose por zonas estratégicas (Villarta de San Juan, Puente Genil, Mengibar, Dos Hermanas, Puebla de Alcocer, Linares, Villanueva del Arzobispo, etc.), siendo de vital importancia la caracterización del alperujo como combustible para la construcción de las plantas.

El orujo húmedo producido en las almazaras es factible de ser utilizado como materia prima en las industrias de extracción de aceite de orujo, donde por medios químicos se extrae el 3% de aceite residual que contiene. Sólo queda como residuo la parte sólida de la aceituna que es lo que se conoce como orujillo, que se ha utilizado tradicionalmente como combustible en pequeñas industrias locales como ladrilleras y cerámicas, en las propias almazaras y extractoras y para calefacción.

Las principales características del orujillo que hacen que sea un buen combustible para una planta de generación de electricidad, son las siguientes:

- Poder Calorífico Inferior: 3.700 kcal/kg
- Humedad: 12%
- Inexistencia de azufre y otros contaminantes
- Apariencia granular y fácil manejo
- Riesgo mínimo de suministro
- Producción concentrada.

II.4.- ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS DE TRATAMIENTO.

La mayoría de los proyectos desarrollados para conseguir la eliminación de los residuos originados en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen, se fundamentan en la combinación de dos o más de los tratamientos descritos anteriormente, arrastrando las ventajas de cada uno de ellos, pero también sus inconvenientes.

Los procesos desarrollados hasta ahora, en general, no permiten su eficiente industrialización, debiéndose además de los inconvenientes particulares anteriormente citados en cada caso, a una o varias de las siguientes razones:

- Elevado coste económico.
- Imposibilidad de tratar los grandes volúmenes de alpechín que se generan.
- Personal operativo de las almazaras poco cualificado.
- No poder operar en forma estacional.

Con el fin de no encarecer el coste del tratamiento, se prefiere que la planta industrial de tratamiento esté situada en la propia almazara o muy cercana a ella, lo que evitaría costes en el transporte de los residuos.

A la vista de las dificultades que presentan los residuos de almazara, se pretende desarrollar un proceso integrando varias etapas, con el fin de lograr que estos residuos se transformen en subproductos mediante un proceso que sea viable técnica y económicamente para poder ser transferible al sector productivo

El proceso de depuración y aprovechamiento integral que se propone para los residuos generados en una almazara se puede dividir en dos vías claramente definidas (como se verá en el Capítulo VII), una para los sólidos (orujos de 2 y 3 fases) y otra para los residuos líquidos (alpechín y aguas de lavado).

Para proceder a la etapa de remolido de los residuos sólidos (orujos), se mezclan estos (o sólo la pulpa si se separa previamente el hueso y la pulpa), con distintas corrientes líquidas existentes (fundamentalmente agua de lavado de aceite), la que se introduce nuevamente en un decánter horizontal, en este caso de tres fases, obteniéndose aceite de oliva virgen (no ha sido sometido a ningún proceso que no sea físico), alpechín (que se conducirá a la parte de depuración de residuos líquidos) y un sólido con o sin hueso que se podrá utilizar como materia prima de compostaje junto con el sólido separado del alpechín, para la alimentación de ganado u otras aplicaciones.

Si se separa el hueso de la pulpa, este constituye una materia prima óptima para varias aplicaciones, entre ellas cabe destacar:

- Combustible.
- Limpieza de fachadas.
- Obtención de carbón activo.
- Materia prima para la obtención de furfural.

El proceso de depuración del alpechín se realiza mediante una combinación de procesos físico-químicos y térmicos. En primer lugar se procede a un acondicionamiento del alpechín a base de tratamientos físico-químicos, pasando a una posterior evaporación en una planta que opera en continuo. Este método permite obtener del alpechín aceite y dos subproductos (agua y fangos), que son utilizados para aplicaciones diversas:

- Tanto el agua de constitución de la aceituna como el agua añadida en el proceso de extracción del aceite (en los casos en que se añada) es recuperada y utilizada como agua de riego.
- El concentrado de sólido (fango de alpechín), que contiene fundamentalmente tejidos blandos de la pulpa de aceitunas, aceite y agua, es acondicionado para la fabricación de fertilizantes, los cuales sirven como aporte orgánico al suelo agrícola. También podrían servir como materia prima para la fabricación de piensos. La última posibilidad sería el empleo como combustible.

III.- OBJETIVOS

A la vista de la evolución tecnológica que ha sufrido el proceso de obtención de aceite de oliva virgen, teniendo siempre como objetivo fundamental de esta tesis la reducción del impacto medioambiental de los residuos que se generan en las almazaras en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen con cada uno de los sistemas mayoritariamente utilizados, en este trabajo de tesis se ha planteado la posibilidad de complementar las tecnologías de dos y tres fases mediante etapas que convierten a dichos procesos en lo que se denomina DESARROLLO SOSTENIBLE, al lograr convertir sus residuos en subproductos, que pueden ser aplicados en las propias actividades del sector oleícola, bien en la etapa agrícola y/o industrial.

Dentro de este objetivo fundamental, en este trabajo de investigación también se pretende demostrar las ventajas medioambientales, así como la viabilidad técnica, de un nuevo sistema para tratar los residuos, sólidos y líquidos, originados en el proceso de producción de aceite de oliva virgen. El proceso de depuración y aprovechamiento integral que se propone para los residuos generados en una almazara se puede dividir en dos vías claramente definidas, una para los sólidos (orujos de 3 fases y alperujo de 2 fases) y otra para los residuos líquidos (alpechín y aguas de lavado).

Para alcanzar este objetivo fundamental, se han planteado los siguientes objetivos generales:

Determinar mediante ensayos de separación acelerada de sólidos de alpechín en laboratorio, el coagulante-floculante que mejor se adapte a este tipo de residuos, para a continuación estudiar los factores que pueden influir en el rendimiento del proceso (temperatura, pH, concentración, etc.).

Estudiar los procesos de aglomeración y coagulación de los sólidos en suspensión en el alpechín utilizando la tecnología de ultrasonidos, con el fin de disminuir el consumo de floculante en el proceso de separación acelerada de sólidos.

Diseñar y construir una planta piloto móvil sobre la plataforma de un camión tráiler para el tratamiento integral del alpechín, realizar su puesta en marcha y proceder a comprobar los resultados obtenidos en la experimentación llevada a cabo en el laboratorio.

A partir de los resultados extraídos de los ensayos realizados en la planta piloto, diseñar y construir una planta industrial para el tratamiento integral de los alpechines generados por una almazara que moltura 50.000 kg/d que emplea un decánter de tres fases. Proceder a la puesta en marcha teniendo en cuenta que será necesario efectuar las modificaciones que se necesiten para su correcto funcionamiento.

Realizar en esta planta industrial ensayos para la recuperación de parte del aceite ocluido en el alpechín, que queda retenido en el “fango de alpechín” obtenido al separar los sólidos del líquido en el proceso de separación acelerada de sólidos.

Debido a la evolución tecnológica del proceso de obtención de aceite de oliva virgen (aparece el sistema de centrifugación en dos fases), el último objetivo específico del presente trabajo es diseñar y construir una planta de demostración para el tratamiento integral y valorización de los residuos líquidos y sólidos generados durante dicho proceso, realizando su posterior puesta en marcha.

Para alcanzar los objetivos propuestos se ha llevado a cabo la construcción de 3 plantas:

PLANTA PILOTO MÓVIL DE DEPURACIÓN DE ALPECHÍN.

Sobre la plataforma de un camión tráiler se montó la planta piloto denominada TRAINALBA-M1, donde se realizaron multitud de ensayos de tratamiento de residuos líquidos (alpechines) de distintas zonas oleícolas tanto nacionales como extranjeras.

PLANTA INDUSTRIAL DE DEMOSTRACIÓN PARA LA DEPURACIÓN INTEGRAL DEL ALPECHÍN.

Planta industrial de demostración para el tratamiento de los residuos líquidos generados por una almazara que moltura 50.000 kg/día utilizando un sistema de 3 fases. Posteriormente se añadió la fase de remolido del orujo.

PLANTA DE DEMOSTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO INTEGRAL Y VALORIZACIÓN DE TODOS LOS RESIDUOS DE ALMAZARA.

Correspondiente al proyecto LIFE 05ENV/E/000292 OLIVEWASTE-BAENA. Planta de demostración para el tratamiento integral y valorización de los residuos líquidos y sólidos generados durante el proceso de extracción del aceite de oliva.

IV.- ENSAYOS DE LABORATORIO.

IV.1.- INTRODUCCIÓN.

A principios de los noventa se utilizaba mayoritariamente en el proceso de obtención de aceite de oliva virgen el sistema de tres fases (prensas o centrifugación), el residuo que se generaba en las almazaras era el alpechín, ya que el orujo se vendía a las extractoras de aceite de orujo y se consideraba un subproducto por el que se obtenían beneficios. Por este motivo, los primeros estudios que se realizaron en el presente trabajo de investigación buscaban encontrar una solución alternativa a los distintos procesos de depuración de alpechines estudiados hasta ese momento.

Debido a las dificultades que presentaban los procesos de tratamiento, se eligió el proceso de evaporación como el más adecuado para la eliminación del alpechín, pero introduciendo unas mejoras que permitirán eliminar los inconvenientes de dicho proceso:

- Caramelización de la melaza y deposición de la misma en los elementos del evaporador.
- Obstrucción de los tubos del evaporador por deposición de CaCO_3 .
- Existencia de olores en el agua recuperada por evaporación.

Para conseguir eliminar el primero de estos problemas se consideró que era fundamental la separación de los sólidos suspendidos presentes en el alpechín, para lo cual se realizaron ensayos a escala laboratorio con distintos agentes de separación acelerada de sólidos (coagulantes y floculantes comerciales) que permitieran la obtención de un líquido coloreado pero libre de sólidos suspendidos.

El segundo inconveniente se logra solucionar eliminando la dureza temporal haciendo circular el alpechín dentro de un intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales e impiden su deposición en las tuberías.

Para solventar el último inconveniente se propone un tratamiento final con un filtro de carbón activo (sólo si es necesario).

En el presente capítulo se describen los ensayos realizados en laboratorio para evitar la caramelización y deposición de la melaza en el evaporador, es decir para conseguir la separación de sólidos suspendidos presentes en el alpechín.

En una primera fase de experimentación se realizan una serie de ensayos con distintos floculantes y coagulantes comerciales, con el fin de identificar el que mejor rendimiento presenta.

A continuación se procede a optimizar el proceso mediante un Diseño de Experimentos analizando los posibles factores que influyen en la separación.

Dado que, como se verá más adelante, uno de los factores con mayor influencia en el proceso de separación es el pH, al realizar la neutralización se utiliza lechada de cal y se observó una mejora en el proceso de floculación, lo que puso de manifiesto la conveniencia de realizar otros ensayos utilizando otros coagulantes inorgánicos (concretamente permanganato potásico y sulfato de aluminio) y comprobar si también mejoran el proceso.

Por último se estudia la combinación del proceso de floculación con otra tecnología de separación, concretamente ultrasonidos, para estudiar su posible aplicación a nivel industrial.

IV.2.- ENSAYOS DE FLOCULACIÓN PARA LA ELECCIÓN DEL AGENTE DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

Se pretende realizar una serie de experimentos a escala laboratorio con el fin de seleccionar los agentes de separación acelerada de sólidos más adecuados para acondicionar el alpechín antes de ser sometido a un proceso de evaporación.

IV.2.1.- METODOLOGÍA DE LA EXPERIMENTACIÓN.

Para realizar las pruebas de separación acelerada de sólidos se dispone de un floculador de la marca AQUALYTIC modelo LABORATORY FLOC TESTER AMF equipado con cuatro agitadores. Este aparato está equipado con un regulador de velocidad rotacional de agitación de 0 a 200 rpm, display digital de la regulación de velocidad capaz de medir y controlar las revoluciones por minuto durante la experimentación. También posee un temporizador de 0 a 120 min que permite mantener las muestras en agitación durante un tiempo determinado, altura variable de los agitadores e iluminación posterior que permite la observación de las muestras.

Dado que solo se pretende analizar el producto o mezcla de productos a utilizar que proporcione los mejores resultados relativos a eliminación de sólidos, no se analizan tiempos de agitación para la formación de sólidos, ni velocidades de agitación. Estos datos no se consideran de elevada importancia en esta fase de la experimentación ya que los equipos que se instalaran en las distintas plantas aseguran una mezcla completa alpechín-floculante y una formación de flóculos que se considera óptima, como así se demostró posteriormente en las operaciones realizadas en la planta piloto, que trataremos en el siguiente capítulo. No obstante, si se tendrán en cuenta en el Diseño de Experimentos que se realizará posteriormente para comprobar la escasa influencia que tienen estos dos factores.

Idealmente, el funcionamiento del proceso de floculación constaría de tres etapas:

- 1.- Mezcla de agente de separación acelerada con alpechín. El fenómeno se realiza con una velocidad de agitación elevada para aumentar la turbulencia (> 100 rpm), con el fin de conseguir una buena mezcla entre los productos. El tiempo de agitación para esta etapa es de 10 - 15 s, suficiente para evitar agrupaciones no mezcladas de agente de separación acelerada y alpechín que disminuirían la eficacia del proceso.
- 2.- Formación de flóculos por retención de los sólidos contenidos en el alpechín. La velocidad de agitación es baja (aproximadamente 40 rpm) para evitar la ruptura de los flóculos formados. Se observa claramente el cambio de aspecto del alpechín cuando flocula bien, pasando de ser un líquido turbio a un líquido claro con color, sin observar partículas en suspensión.
- 3.- Separación de los flóculos formados. Se realiza cuando se para la agitación y la separación puede ser por decantación, flotación o mezcla de ambas. La separación de los sólidos floculados del alpechín se realiza por filtración.

En un primer estudio se analiza la separación de sólidos del alpechín utilizando solamente como agente de separación acelerada floculantes, que dado el origen del residuo tienen que ser de carácter catiónico. Se mide la turbidez de las muestras iniciales y finales para valorar el grado de eficacia del proceso de separación.

El segundo objetivo de los ensayos es comparar el grado de separación de sólidos que se obtiene utilizando solo floculante como agente de separación acelerada, o añadiendo en algunos casos coagulante y floculante, intentando analizar la disminución de la cantidad de reactivo que hay que utilizar para separar los sólidos del alpechín. Para llevar a cabo el segundo objetivo se preparan los siguientes reactivos en una concentración de 500 ppm:

- Floculantes: ZETAG 50 (Z-50), N04, ZETAG 57 (Z-57), ZETAG 63 (Z-63), N05.
- Coagulante: Magnafloc 368 (M-368). ML T - 31 (Líquido en concentración original).

Posteriormente se realizará un estudio más exhaustivo de la adición de coagulantes de origen inorgánico una vez elegido el floculante más adecuado, así como un Diseño de Experimentos con el fin de optimizar el proceso de separación acelerada de sólidos.

IV.2.2.- PRIMERA FASE DE EXPERIMENTACIÓN.

En primer lugar se realizaron pruebas de separación acelerada de sólidos sobre una mezcla representativa de los alpechines originados en las almazaras de Baena (Córdoba), utilizando los floculantes comerciales citados anteriormente.

Se toman 500 mL de alpechín y sobre él se añaden 50 mL de floculante (concentración de 500 ppm). La bondad de la eficacia del proceso de separación se valora midiendo la turbidez inicial y final de las muestras. Los resultados obtenidos son los siguientes.

	BLANCO	ZETAG-50	NO4	ZETAG-57	ZETAG-63	NO5
Turbidez NTU	450	101	347	275	232	295

El resultado más prometedor se obtiene cuando se utiliza ZETAG-50, lo cual se observa a simple vista viendo el tamaño y facilidad de separación de los flóculos.

A continuación se realizaron ensayos con varios alpechines, utilizando en este caso tanto floculantes como mezclas de floculantes y coagulantes. Se miden la temperatura y el pH del alpechín. Para cada muestra se toman 500 mL de alpechín, y sobre él se añade el coagulante y diferentes fracciones de floculante hasta que el aspecto final del líquido tratado se considera aceptable. Los resultados son los que se muestran a continuación:

ALPECHIN DE LA ALMAZARA GERMAN BAENA.

Ensayo 1: Condiciones de las muestras: Temperatura = 14,8° C pH = 5,03.

Muestra 1: Se adicionan 50 mL del preparado M-368 sobre el alpechín, consumiendo fracciones de 80 mL + 5 mL + 5 mL + 10 mL del preparado de floculante Z-50.

Muestra 2: Se añaden 60 mL de M-368 sobre el alpechín. Se utilizan fracciones de Z-50 de 45mL + 5mL + 5 mL + 10 mL.

Muestra 3: Se adicionan 90 mL de M-368, consumiendo fracciones de Z-50 de 30 mL + 10 mL + 10 mL + 10 mL.

Ensayo 2: Condiciones de las muestras Temperatura = 14,1° C pH = 5,02.

Muestra 1: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368. Consume 30 mL + 10 mL de Z-50. El resultado de esta muestra es el mejor obtenido con el alpechín de Germán Baena.

Muestra 2: El alpechín se mezcla con 30 mL de M-368. Se añaden 30 mL + 10 mL de Z-50. Se produce formación de flóculos pero son muy pequeños.

Muestra 3: El alpechín se mezcla con 40 mL de M-368. Se utilizan fracciones de Z-50 de 30 mL + 10 mL + 20 mL + 10 mL. Los flóculos formados son pequeños.

Muestra 4: Se mezcla el alpechín con 10 mL de M-368. Se añade Z-50 en fracciones de 30 mL + 10 mL. Los flóculos formados son pequeños.

Ensayo 3: Condiciones de la muestra Temperatura = 13,0° C pH = 5,03.

Solo se realiza una prueba para optimizar la cantidad de floculante sin coagulante resultando una floculación excelente añadiendo una cantidad de 45 mL de Z-50 en continuo. Los flóculos formados son los que deberían obtenerse siempre.

Análisis de resultados:

- La cantidad de coagulante afecta al resultado final de la separación, no siendo el resultado mejor cuando se añade más cantidad del mismo.
- La última prueba sin adición de coagulante pone en duda el beneficio previsto utilizando coagulante, pues los volúmenes totales de reactivo añadidos siempre son equivalentes o mayores que el correspondiente al resultado del tercer ensayo realizado.

ALPECHIN DE LA ALMAZARA DOÑA MENCIA.

Ensayo 1: Condiciones de las muestras Temperatura = 13,8° C pH = 5,15

Muestra 1: Se mezcla el alpechín con 25 mL de M-368. Se añaden 80 mL de Z-50 y se observa que flocula bien.

Muestra 2: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368. La floculación se cataloga como buena después de añadir 80 mL de Z-50.

Muestra 3: Se adicionan 25 mL de M-368 a la muestra de alpechín. Se le añade gran cantidad de N05 en diferentes fracciones, observando que no se produce separación de sólidos.

Muestra 4: Al alpechín sin coagulante se le añade 40 mL en dos fracciones de 30 y 10 mL de Z-50 observándose que flocula bien, pero no se produce una buena decantación de los flóculos formados.

Ensayo 2: Condiciones de las muestras Temperatura = 13,8° C pH = 5,15

Muestra 1: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368 y se trata con dos fracciones de Z-50 correspondientes a 30 y 15 mL respectivamente, hasta que se consigue la floculación.

- Muestra 2: Se mezcla el alpechín y 20 mL de M-368 añadiendo cuatro fracciones de Z-50 correspondientes a 40 mL, 20 mL, 15 mL y 15 mL. Se consigue floculación.
- Muestra 3: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368 añadiendo dos fracciones de Z-50 correspondientes a 50 mL y 10 mL respectivamente, hasta conseguir la floculación.
- Muestra 4: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368 añadiendo dos fracciones de Z-50 correspondientes a 60 mL y 10 mL respectivamente. Se consigue la floculación.
- Muestra 5: Se trata el alpechín con 30 mL de Z-50, flocula pero los sólidos no decantan bien.

Análisis de resultados:

- El floculante N05, utilizado con M-368 no es capaz de producir la separación de sólidos.
- Las cantidades de coagulante que pueden ser utilizadas se sitúan en torno a 4 o 5 mL en 100 mL de alpechín en una concentración de 500 ppm.
- Se pone de manifiesto que la forma de adición del agente de separación (mejor en pequeñas fracciones) afecta considerablemente el resultado final.
- La adición de coagulante puede mejorar el proceso de decantación, pero no disminuirá la cantidad de floculante a utilizar durante el proceso de separación de sólidos.
- El floculante Z-50 funciona perfectamente sin adición de coagulante.

ALPECHIN DE LA ALMAZARA GUADALUPE.

Ensayo 1: Condiciones de las muestras Temperatura = 12,1° C pH = 5,17.

- Muestra 1: Se mezcla el alpechín con 25 mL de M-368. A continuación se añaden distintas cantidades de N05. No flocula.
- Muestra 2: El alpechín se trata con el floculante N05, sin adición de coagulante. Después de añadir mucha cantidad de N05 no ha comenzado la floculación.
- Muestra 3: Al alpechín se le añade 100 mL de Z-63 en fracciones de 30 mL, 20 mL, 30 mL y 20 mL. El resultado es una floculación defectuosa.
- Muestra 4: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368. Se le añade Z-63 en cantidad suficiente. No se observa que comience la floculación.
- Muestra 5: Se trata el alpechín con una cantidad elevada de N04. No se consigue la floculación.

Ensayo 2: Condiciones de las muestras Temperatura = 12,3° C pH = 5,12.

- Muestra 1: Se añaden sobre el alpechín, y por este orden, 30 mL + 10 mL + 10 mL de Z-50 y posteriormente 5 mL del coagulante MLT-31. El resultado no produce una floculación adecuada.
- Muestra 2: Al alpechín, se añaden primero 2,5 mL de MLT-31 y posteriormente fracciones de 30 mL, 10 mL y 10 mL de Z-50. Se produce la floculación.
- Muestra 3: Al alpechín, se añaden 3,5 mL de MLT-31 y posteriormente fracciones de 30 mL, 10 mL y 10 mL de Z-50. Se produce la floculación.
- Muestra 4: Al alpechín, se añaden 5 mL de MLT-31 y posteriormente las fracciones del floculante Z-50 de 25 mL, 10 mL y 10 mL. Se observa que el líquido flocula.

Análisis de resultados:

- Los floculantes N04, N05 y Z-63, no parecen ser adecuados para tratar este tipo de alpechín, independientemente de la utilización o no de coagulante, al menos con este alpechín, que por sus características puede ser representativo del alpechín generado en la denominación de origen Baena. Por otra parte, se confirma que el más idóneo parece ser el Z- 50.
- La adición de coagulante, si se requiere, debe realizarse antes del tratamiento con floculante, pues después de añadido el floculante no parece mejorar la formación de los flóculos.
- Solo se probará la adición de coagulante cuando el alpechín tratado no flocule bien con sólo la adición de floculante, que en todo caso será Z-50, a falta de probar otros floculantes.
- Otros ensayos anteriores de los que no se disponen resultados, muestran que el alpechín de Baena, dentro de los cuales se sitúa el analizado anteriormente, flocula bien utilizando únicamente Z-50. No deberían existir diferencias entre este alpechín y los resultados proporcionados por los alpechines de la almazara Germán Baena.

ALPECHIN DE LA ALMAZARA DE LUQUE.

Los ensayos realizados con este alpechín previamente dieron como resultado que era muy difícil separar los sólidos del mismo utilizando cualquier tipo de floculante. Una característica de este alpechín es que es sometido a vibración durante el proceso de fabricación para facilitar la salida del aceite al exterior. Los ensayos realizados con este alpechín son:

Ensayo 1: Condiciones de las muestras Temperatura = 13,1° C pH = 5,05.

Muestra 1: El alpechín se mezcla con 20 mL de M-368 y se añade N04 en gran cantidad. No se produce formación de sólidos.

Muestra 2: El alpechín se trata con bastante cantidad de N04. No se consiguió que la mezcla floclulara.

Ensayo 2: Condiciones de la muestra Temperatura = 13,3° C pH = 5,09.

Muestra 1: 250 mL de alpechín se diluyen con 250 mL de agua y a los 500 mL de solución resultante se le añaden 80 mL de Z-50. Comienza la floclulación. No se consigue mejorar el aspecto del líquido floclulado ni añadiendo más cantidad de floclulante y dejándolo decantar durante 14 horas. El problema no queda solucionado.

Ensayo 3: Condiciones de las muestras Temperatura = 14,0° C pH = 5,05.

Muestra 1: Se mezcla el alpechín con 5 mL de MLT-31 y a continuación se añaden 70 mL de Z-50 no observándose la formación de flóculos, pero si diluimos la mezcla total con 250 mL de agua aparecen flóculos, aunque el líquido aun permanece turbio, con sólidos en suspensión difíciles de decantar.

Muestra 2: El alpechín, mezclado con 5 mL de MLT-31 y 10 mL de M-368, se le añade 60 mL de Z-50. Floclula mejor que la muestra 1, pero también al diluirlo con 250 mL de agua.

Muestra 3: 125 mL de alpechín se diluyen con 375 mL de agua y se mezclan con 3 mL de MLT-31. La muestra floclula con 60 mL de Z-50. La floclulación es mejor que las obtenidas en las muestras 1 y 2 del presente ensayo y los sólidos floclulados decantan mejor.

Muestra 4: 125 mL de alpechín se diluyen con 375 mL de alpechín sin sólidos y se mezclan con 3 mL de MLT-31. El resultado es similar al obtenido en la muestra 3, al añadir 60 mL de Z- 50.

Análisis de resultados:

- En algún caso específico el coagulante puede favorecer la floclulación, si bien es conveniente realizar ensayos añadiendo solo floclulante, pero diluyendo a distintos niveles este alpechín de difícil tratamiento con agua o alpechín sin sólidos.

- Los alpechines con elevado contenido en sólidos, o procedentes de un proceso de vibración, habrá que diluirlos para facilitar la formación de los flóculos. Se observa aceite sobrenadante en las muestras tratadas.

ALPECHIN DE LA ALMAZARA DE NUÑEZ.

La característica más significativa de este alpechín es que procede de una almazara que utiliza el método de prensado. El color es negro.

Ensayo 1: Condiciones de las muestras Temperatura = 18,1° C pH = 5,21.

Muestra 1: El alpechín se trata con 60 mL de Z-50. Los flóculos formados son muy pequeños, pero decantan muy bien.

Muestra 2: Se mezcla el alpechín con 15 mL de M-368, necesitándose 40 mL de Z-50 para que se produzca la floculación. Los flóculos siguen siendo muy pequeños al igual que en la muestra 1, pero mantienen la buena sedimentación.

Análisis de resultados:

- Este alpechín posee un comportamiento excelente, incluso durante la etapa de un filtrado posterior a gravedad, filtra perfectamente, no obstruyendo los poros de la tela utilizada para la filtración. En otros alpechines la obstrucción de estos poros obligaba a la limpieza del material utilizado para la filtración, o bien utilizar una superficie más amplia para conseguir la misma cantidad de líquido filtrado.

ALPECHIN DE LA ALMAZARA DE CAMPO TEJAR.

Ensayo 1: Condiciones de las muestras Temperatura = 11,9° C pH = 5,28.

Muestra 1: El alpechín se trata con tres fracciones de Z-50 de 35 mL + 35 mL + 15 mL respectivamente. Se forman flóculos, pero el aspecto final del líquido no es el deseado, pues se mantiene aun turbio. Al líquido sobrenadante se le añaden 20 mL más de floculante. Se forman flóculos más grandes, pero no parece que retengan más sólidos procedentes de líquido.

Muestra 2: Se trata el alpechín con dos fracciones de Z-50 diluidas a 250 ppm de 150 mL y 50 mL respectivamente. A la mezcla se le añade 10 mL de Z-50 de 500 ppm. Los flóculos formados decantan bien.

Muestra 3: Se mezcla el alpechín con 20 mL de M-368 y se añaden 80 mL de Z-50 divididos en tres fracciones de 30 mL, 20 mL y 30 mL respectivamente. No es buena la floculación.

Muestra 4: Se trata el alpechín con dos fracciones de 100 mL y 30 mL respectivamente de Z-50. Después de mucho tiempo de agitación no se puede considerar una buena floculación.

Análisis de resultados:

- Al igual que con el alpechín de Luque, se confirma que un efecto de dilución puede favorecer el proceso de separación de sólidos. Puede diluirse con alpechín sin sólidos o preparando el floculante con alpechín sin sólidos a una concentración baja.

VI.2.3.- ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.

1.- Tipo de alpechín.

Aunque deben conocerse más factores, los análisis de resultados no pueden aplicarse a otros alpechines que no sea el que se está considerando en cada ensayo. El comportamiento de cada alpechín es diferente aunque en muchos casos la aceituna procesada en las almazaras es similar, por tanto el comportamiento diferente de un alpechín frente a otro se debe a diferencias en el proceso industrial de obtención de aceite de oliva virgen. A la vista de los resultados obtenidos con las distintas muestras de alpechín proporcionadas por almazaras de la zona, los factores que deben tenerse en cuenta son:

- Tipo de almazara: prensas, dos fases o tres fases.
- Cantidad de agua añadida al proceso por cada kg de aceituna.
- Adición de talco o enzimas y cantidad de las mismas.
- Existencia de una etapa de vibración del alpechín.

2.- Adición de Coagulante.

En muestras en las que se consigue la separación acelerada de sólidos utilizando solamente floculante, no se observa que la adición de coagulante favorezca claramente dicha separación. No se desecha la posibilidad de su utilización en el caso de algún alpechín con comportamiento extraño, pero se recomienda realizar ensayos particulares para cada caso.

3.- Selección de floculante.

El floculante que mejor comportamiento presenta con todos los alpechines estudiados es el ZETAG-50.

4.- Velocidad de agitación.

La forma de adición del floculante más idónea es por fracciones pequeñas, pero asegurando una buena mezcla aumentando la turbulencia con velocidad de agitación elevada, disminuyéndola posteriormente durante la formación de flóculos. Este factor marcará el diseño del mezclador alpechín-agente de separación acelerada en los equipos a mayor escala.

5.- Experimentación previa.

Es conveniente realizar ensayos previos con el alpechín a tratar utilizando el floculador, con el fin de predecir su comportamiento en la planta piloto. Si el ensayo en el floculador es positivo, es decir, se produce la separación de sólidos, en la planta piloto también se producirá ya que el sistema de mezcla alpechín-agente de separación acelerada es más eficaz en la planta. Si el ensayo en el floculador no produce la separación de sólidos, no se debe descartar la posibilidad de poder tratar el alpechín en la planta piloto, dado que además de una mejor mezcla existe otro factor que favorece el proceso que no tiene el floculador, que es la introducción de aire que favorece tanto la mezcla como la separación de sólidos por flotación al disminuir la densidad aparente de los mismos.

IV.3.- OPTIMIZACIÓN DE LA ETAPA DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

Dada la importancia que tiene la etapa de separación de sólidos en el proceso global de depuración del alpechín, se han realizado dos trabajos de investigación que han dado lugar a dos Proyectos Fin de Carrera que obtuvieron la máxima nota de Sobresaliente con Honor [Merino 1995] y [Carrascosa 1995], que buscan minimizar el coste en reactivos químicos. Por una parte, se han planteado dos soluciones para optimizar el tratamiento físico-químico existente, mediante un Diseño de Experimentos y la utilización de coagulantes de origen inorgánico, y por otra el empleo de tecnología de ultrasonidos para lograr la aglomeración de los sólidos presentes en el alpechín.

IV.3.1.- DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

La metodología del Diseño de Experimentos es una técnica o herramienta que sirve para realizar experiencias y poder encontrar las condiciones óptimas. Supone la introducción deliberada de cambios en el proceso a fin de evaluar sus efectos sobre su funcionamiento. La experimentación permitirá disminuir el grado de desviación de las condiciones óptimas. El propósito del diseño de

experimentos es encontrar aquella combinación de factores que sea la mejor, la más fiable y de menor coste.

IV.3.1.1.- Conceptos básicos.

Se definen como *factores* todas las variables y circunstancias que pueden afectar de alguna manera a las características de calidad del proceso. Existen dos tipos de factores, los que podemos actuar sobre ellos, denominados factores de control; y los que no podemos actuar, llamados factores ruido. Los factores que se escogen deben ser controlables y medibles.

Se produce una *interacción* cuando el efecto de un factor sobre la característica de calidad seleccionada depende del nivel al que se encuentre otro factor.

Se llaman *niveles* a los valores que adquieren o toman los distintos factores que actúan sobre el comportamiento del proceso. Se les designará por los signos + y -, o por los números 1 y 2, correspondientes respectivamente a los niveles máximo y mínimo de los factores.

Los *grados de libertad* son el número de comparaciones que tenemos que hacer para saber cual es el mejor nivel. Matemáticamente, los grados de libertad son igual al número de niveles menos uno.

El tipo de diseño que se va a utilizar es el denominado *diseño factorial fraccional con arreglos ortogonales* introducido por Taguchi, que permite reducir el número de experimentos respecto a otros tipos de diseños [Taguchi 1992] y [Taguchi *et al* 2007]. Las etapas a desarrollar en un diseño de experimentos son:

- 1- Definir el problema.
- 2- Determinar el objetivo, es decir, identificar las características de calidad del proceso, que en nuestro caso son aquellas que minimicen o eliminen las interacciones en el desarrollo del proceso.
- 3- Tormenta de ideas. Determinar factores, niveles y posibles interacciones.
- 4- Diseño experimental. Selección del arreglo ortogonal y asignación de columnas.
- 5- Conducir el experimento y recopilar datos.
- 6- Análisis estadístico de los datos: análisis de la varianza.
- 7- Interpretación de los resultados.
- 8- Experimento confirmatorio.

IV.3.1.2.- Aplicación del diseño de experimentos a la etapa de floculación del alpechín.

El alpechín con el que se realizan los ensayos procede de la almazara Comunal Sotoserrano Sociedad Cooperativa (Salamanca), los resultados que se obtengan podrían servir para otro residuo procedente de otra almazara pero sería necesario realizar unos ensayos confirmatorios debido a que el comportamiento de cada alpechín es diferente. Esta diferenciación se debe a la gran heterogeneidad que presentan estos residuos debido fundamentalmente a las distintas variedades de aceituna y los distintos tipos de sistemas de producción.

Para realizar las pruebas de separación acelerada de sólidos se utiliza el mismo floculador que el utilizado en las experiencias anteriores.

A continuación seguiremos los pasos propuestos anteriormente.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Se plantea un diseño de experimentos para el proceso de separación de la fase sólida suspendida en el alpechín. Este proceso de separación incluye una etapa química, de coagulación-floculación, y una etapa física de decantación.

La realización de los experimentos tuvo lugar durante la campaña oleícola 94-95 y se realizaron en Sotoserrano para que así no hubiera variabilidad del alpechín por el cambio de lugar y época.

DETERMINACIÓN DEL OBJETIVO.

Se trata de definir los parámetros que se van a medir, y fijar sus valores en el estado óptimo que se desea alcanzar en el proceso estudiado. El objetivo es lograr un residuo líquido con la menor cantidad posible de sólidos en suspensión.

La característica medible del proceso que se va a optimizar es la cantidad de residuo sólido seco. Para su determinación se toma una muestra de la fase líquida del alpechín una vez tratado y decantado, la cual se pesa debidamente y se introduce en una estufa de secado a la temperatura de 105° C para que se evapore el agua, permaneciendo en ella hasta que la pesada sea constante. El análisis de los resultados obtenidos se realiza midiendo el contenido porcentual de sólidos del líquido tratado respecto al inicial después de su separación por decantación.

ELECCIÓN DE FACTORES Y NIVELES (TORMENTA DE IDEAS).

Un aspecto importante en la definición del problema es la determinación de los factores que tienen una considerable influencia en el proceso, en este caso la floculación del alpechín. En un primer análisis se han observado ocho factores potenciales:

- 1- Concentración del floculante.
- 2- Temperatura del alpechín.
- 3- Envejecimiento del alpechín.
- 4- pH del alpechín.
- 5- Tiempo de preparación del floculante.
- 6- Velocidad de agitación.
- 7- Tiempo de agitación.
- 8- Dilución inicial del alpechín.

Tras analizar los resultados obtenidos anteriormente y realizar otras pruebas (en las que la metodología seguida no es sistemática y no se controlan ni se fijan los valores que influyen en el proceso) se observó que:

- La concentración de floculante tiene gran influencia sobre este proceso, puesto que las muestras presentan un aspecto muy diferente. El floculante que se utiliza es con el que mejores resultados se obtuvieron en los ensayos preliminares, es decir ZETAG-50.
- Se observa que la temperatura a la que se encuentra el alpechín tiene gran incidencia.
- El envejecimiento del alpechín no es un factor a considerar, ya que no había modificación aparente. Se probó con alpechín del mismo día, de una semana y de dos semanas.
- El pH del alpechín es un factor que influye de manera importante en el proceso de floculación.
- El tiempo transcurrido una vez preparado el floculante tampoco es un factor influyente en la floculación del alpechín. Se hicieron pruebas con floculante preparado dos semanas antes de realizar ensayos, preparado una semana antes y preparado unas tres horas antes de realizar las pruebas, no observándose que influya en la separación de los sólidos de las muestras, por lo que no se ha tenido en cuenta este factor.
- La velocidad de agitación de la muestra una vez añadido el floculante, parece influir sobre el proceso de floculación del alpechín.
- El tiempo de agitación de la mezcla alpechín-floculante es un factor a tener en cuenta ya que el aspecto de la muestra varía con el mismo.

- En cuanto a la dilución del alpechín se comprobó que el proceso de floculación se produce más satisfactoriamente en las muestras de alpechín diluidas con agua o con alpechín sin sólidos, siendo la proporción óptima de dilución 1:4. Sin embargo, desde el punto de vista económico, la dilución del alpechín no es rentable ya que posteriormente a la etapa de separación de sólidos, debe evaporarse.

A la vista de las conclusiones de los ensayos preliminares se eligieron finalmente cinco factores fundamentales a dos niveles:

- *Concentración del floculante.* En la mezcla acuosa del floculante utilizado se analiza la influencia de la concentración a 300 ppm y 700 ppm.
- *Velocidad de agitación* (agitación continua). Dado que existen dos fases claramente diferenciadas en el proceso de floculación (mezcla inicial floculante-alpechín con velocidades de agitación elevadas y formación de flóculos con velocidad de agitación baja) se toma como nivel un valor intermedio que sea suficientemente elevado para facilitar la mezcla alpechín-floculante y que a su vez no rompa los flóculos que se forman, concretamente 50 rpm, aunque en la experimentación se realizan las dos etapas a distintas velocidades.
- *Tiempo de agitación.* Este factor interaccionará con el factor anterior, por lo que se podrá precisar si afecta el número total de revoluciones al tiempo en el que se han realizado. Los tiempos de los dos niveles son cinco minutos y diez minutos.
- *Temperatura del alpechín.* Se toman como niveles: frío, a la temperatura ambiente de Sotoserrano durante los meses de Enero y Febrero (entre 7° C y 10° C) y caliente, equivalente a la temperatura de salida del alpechín de la almazara, que es alrededor de los 27° C.
- *pH del alpechín.* Para este factor se deberían considerar tres niveles: ácido, neutro y básico, pero tras pruebas previas se observó que el nivel básico no es conveniente considerarlo, ya que no mejora el proceso. La neutralización se efectúa añadiendo cal disuelta en agua en un principio, pero se comprobó que su comportamiento no variaba si se disolvía en alpechín sin sólidos.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

Un diseño mixto requiere de 2^n arreglos ortogonales. Si se hace un diseño factorial de cinco factores a dos niveles por factor, representaría 2^5 ensayos, lo cual constituye un diseño de experimentos clásico, y sería largo y tedioso. La metodología Taguchi permite disminuir ese número de ensayos; el número de ensayos a efectuar será de 16, y no de 32, mediante la utilización de un arreglo ortogonal.

La elección del arreglo ortogonal adecuado está relacionada con el número de grados de libertad referentes al diseño. Partiendo de los cinco factores elegidos, los grados de libertad se deben a la variación de cada uno de los factores así como a sus interacciones:

A	Concentración de floculante.
B	Velocidad de agitación.
C	pH de alpechín.
D	Tiempo de agitación.
E	Temperatura del alpechín.

Por lo tanto serían 15 grados de libertad: A, B, C, D, E, AxB, AxC, AxD, AxE, BxC, BxD, BxE, CxD, CxE y Dx E. Es necesario un arreglo ortogonal L16. La asignación de los grados de libertad para cada una de las columnas se realiza mediante una de las gráficas lineales asociadas a las matrices ortogonales, que en nuestro caso es la representada en la figura IV-1.

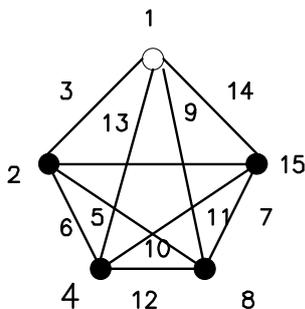


Figura IV-1: Gráfica lineal seleccionada asociada a la matriz ortogonal.

Sobre la matriz del arreglo L16 se asignan los cinco factores, asociándolos a las columnas elegidas anteriormente en la gráfica lineal, teniendo entonces los 16 ensayos definidos. La matriz del diseño de experimentos con la asignación de los factores a sus correspondientes columnas se refleja en la tabla IV.1

Tabla IV-1: Asignación de factores a sus correspondientes columnas en el diseño fraccional L16.

	A			B			C			D			E		
Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Fuente: Elaboración propia.

REALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS Y RECOPIACIÓN DE DATOS.

Los ensayos definidos en la matriz del arreglo L16, se realizaron por triplicado para una mayor precisión en los resultados.

Cada muestra contiene 200 mL de alpechín y entre 60 y 65 mL de disolución de floculante. El modo de realizar los experimentos fue el siguiente:

- En las distintas muestras de alpechín a tratar se adiciona directamente el floculante, y posteriormente se les somete a una agitación, cuya intensidad en los primeros instantes es brusca y luego va decreciendo en el tiempo. Después de la agitación, que permanecerá durante unos minutos, se considera un tiempo de decantación, que se fija previamente y que es lo suficientemente alto como para que se produzca la decantación de todos los flóculos formados en las distintas muestras.

- Una vez decantada la disolución, se toma una muestra del líquido sobrenadante mediante pipeteo, que se pesa igual que las muestras de alpechín inicial (sin tratar), a continuación se introducen en una estufa a 105° C hasta pesada constante, de manera que después de evaporarse el líquido, el residuo sólido seco pueda ser pesado para calcular la pérdida porcentual de residuo sólido seco de alpechín tratado con floculante respecto al alpechín sin tratar y realizar las oportunas comparaciones.

Los resultados obtenidos para las distintas muestras se indican en las tablas IV.2, IV.3 y IV.4, que corresponden respectivamente a las experiencias 1, 2 y 3.

Tabla IV-2: Datos obtenidos para la experiencia 1.

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
1-1	140,93	152,98	12,05	141,02	0,09	0,75	55,08
1-2	147,67	159,76	12,09	147,77	0,10	0,82	50,90
1-3	146,63	158,70	12,07	146,80	0,17	1,41	15,57
1-4	118,50	129,68	11,18	118,66	0,16	1,43	14,37
1-5	124,14	136,12	11,98	124,23	0,09	0,75	55,09
1-6	118,32	131,76	13,44	118,44	0,12	0,89	46,71
1-7	140,90	157,71	16,81	141,12	0,22	1,30	22,16
1-8	115,50	127,01	11,51	115,66	0,16	1,39	16,77
1-9	214,42	226,02	11,60	214,59	0,08	0,69	58,68
1-10	170,82	184,40	13,58	170,90	0,08	0,59	64,67
1-11	127,69	140,55	12,86	127,84	0,15	1,17	29,94
1-12	163,53	174,11	10,58	163,66	0,13	1,23	26,35
1-13	140,30	152,04	11,74	140,39	0,09	0,77	53,89
1-14	171,50	183,24	11,74	171,58	0,08	0,68	59,28
1-15	190,80	204,56	13,76	190,97	0,17	1,23	26,35
1-16	149,33	160,68	11,35	149,46	0,13	1,15	31,14
(*)	145,37	155,39	10,02	145,54	0,17	1,67	

Fuente: Elaboración propia.

(*) Son los datos referidos al alpechín sin tratar de la experiencia 1.

Tabla IV-3: Datos obtenidos para la experiencia 2.

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
2-1	181,74	204,92	23,18	181,93	0,19	0,82	49,69
2-2	111,76	124,63	12,87	111,86	0,10	0,78	52,15
2-3	101,39	114,50	13,11	101,56	0,17	1,30	20,25
2-4	97,95	110,33	12,38	98,12	0,17	1,37	15,95
2-5	142,41	153,03	10,62	142,49	0,08	0,75	53,99
2-6	102,10	116,48	14,38	102,22	0,12	0,83	49,08
2-7	139,60	150,31	10,71	139,74	0,14	1,31	19,63
2-8	97,91	111,02	13,11	98,09	0,18	1,37	15,95
2-9	225,92	237,11	11,19	225,99	0,07	0,62	61,96
2-10	97,57	110,24	12,67	97,65	0,08	0,63	61,35
2-11	92,48	103,56	11,08	92,61	0,13	1,17	30,158
2-12	146,54	156,66	10,12	146,66	0,12	1,18	27,61
2-13	146,05	158,15	12,10	146,14	0,09	0,74	54,60
2-14	136,07	149,01	12,94	136,16	0,09	0,70	57,01
2-15	95,34	106,41	11,07	95,47	0,13	1,17	28,22
2-16	139,50	150,16	10,66	139,63	0,13	1,22	25,15
(**)	125,95	138,20	12,25	126,15	0,20	1,63	

Fuente: Elaboración propia.

(**) Son los datos referidos al alpechín sin tratar de la experiencia 2.

Tabla IV-4: Datos obtenidos para la experiencia 3.

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
3-1	147,82	160,90	13,08	147,93	0,11	0,84	48,47
3-2	118,48	126,15	7,67	118,54	0,06	0,78	52,15
3-3	115,77	127,43	11,66	115,93	0,16	1,37	15,95
3-4	118,67	130,45	11,78	118,84	0,17	1,44	11,66
3-5	141,06	154,05	12,99	141,16	0,10	0,77	52,76
3-6	146,22	158,50	12,28	146,32	0,10	0,81	50,30
3-7	141,14	155,66	14,52	141,33	0,19	1,31	19,63
3-8	124,28	134,43	10,15	124,42	0,14	1,38	15,34
3-9	140,43	149,23	8,80	140,49	0,06	0,68	58,28
3-10	191,02	203,28	12,26	191,10	0,08	0,65	60,12
3-11	171,66	184,35	12,69	171,81	0,15	1,18	27,61
3-12	149,46	159,97	10,51	149,58	0,12	1,14	30,06
3-13	146,85	158,29	11,44	146,94	0,09	0,79	51,53
3-14	170,96	180,53	9,57	171,03	0,07	0,73	55,21
3-15	214,62	223,87	9,25	214,72	0,10	1,08	33,74
3-16	163,74	172,91	9,17	163,85	0,11	1,20	26,38
(***)	125,78	143,62	17,84	126,07	0,29	1,63	

Fuente: Elaboración propia.

(***) Son los datos referidos al alpechín sin tratar de la experiencia 3.

El porcentaje de residuo sólido seco y el porcentaje de residuo retirado están relacionados mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ residuo retirado} = \frac{\% \text{ residuo seco alpechín sin tratar} - \% \text{ residuo seco alpechín tratado}}{\% \text{ residuo seco alpechín sin tratar}}$$

Los porcentajes de residuo sólido seco retirado en todos los ensayos de los tres experimentos son los datos que se han introducido en el software de tratamiento de datos ANOVA, puesto que es la característica a optimizar en el proceso.

La tabla IV.5 ofrece los resultados finales de la importancia de cada uno de los grados de libertad:

Tabla IV-5: Contribución de los factores e interacciones.

Nº columna	Factor o interacción	Contribución (%)
1	A	7,39
2	B	0,12
3	AxB	0,75
4	C	90,04
5	AxC	0,24
6	BxC	0,41
7	DxE	
8	D	0,07
9	AxD	0,14
10	BxD	0,05
11	CxE	
12	CxD	0,17
13	BxE	
14	AxE	
15	E	

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

Se observa claramente en esta última tabla que la mayor contribución es debida al factor C, que equivale al pH del alpechín. Su contribución es del 90%. También el factor A, concentración del floculante, contribuye aunque en mucha menor medida, alrededor del 7,4%. La contribución del resto de factores es casi inapreciable. Por lo que los factores a tener en cuenta en este proceso son los anteriormente indicados, careciendo de importancia los otros factores.

Por tanto, a la vista de los resultados obtenidos y de la gráfica se percibe que el óptimo o campeón sobre el papel corresponde a la siguiente combinación de los niveles: A2 - C1, combinación que corresponde a alpechín neutro (mediante adición de cal), concentración de floculante 700 ppm. El resto de los factores se seleccionarán en función de variables económicas.

Dentro de este experimento el factor que más influencia tiene es el factor C, pH del alpechín, resultando más óptimo el carácter neutro (adicionando cal al alpechín). Como se puede comprobar, el factor E, que equivale a la temperatura no influye para nada en este proceso según los datos obtenidos,

aunque en el momento de la realización de los experimentos parece que el proceso mejora aparentemente.

Algunas interacciones contribuyen en pequeña medida como AxB, BxC, AxC, AxD, siendo el resto de las interacciones despreciables. La de mayor valor es la interacción AxB, donde A corresponde con la concentración de floculante y B con la velocidad de agitación que sólo presenta un nivel.

EXPERIMENTO CONFIRMATORIO.

Con este último experimento se trata de confirmar y verificar los resultados y conclusiones obtenidos en el diseño de experimentos aplicado. Únicamente se repiten las pruebas correspondientes al experimento óptimo.

Los datos obtenidos en este experimento se reflejan en la tabla IV.6:

Tabla IV-6: Tabla de datos correspondientes al experimento confirmatorio.

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
1	114,42	129,15	14,73	114,51	0,09	0,61	62,35
(*)	129,45	143,59	14,14	129,68	0,23	1,62	

Fuente: Elaboración propia.

(*) se refiere al alpechín sin tratar.

El valor medio de las tres experiencias y del experimento confirmatorio es:

$$\text{Media estimada} = \frac{64,47 + 61,35 + 60,12 + 62,35}{4} = 62,07$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Después de haber analizado todos los datos y resultados, se ha llegado a la conclusión de que para optimizar el proceso de floculación, en el proceso de depuración del alpechín, es necesario neutralizar el alpechín, es decir, añadirle cal hasta conseguir un pH próximo a 7; luego tratarlo con floculante de concentración 700 ppm.

Todo esto es bastante comprensible, ya que la cal actúa como coagulante, y por tanto es un complemento para una mejor floculación. La concentración de floculante más elevada también es lógico, pues el alpechín es un residuo que necesita una mayor cantidad de floculante.

Por último, señalar que las únicas modificaciones necesarias a realizar en la planta industrial de depuración de alpechín instalada donde se han realizado los experimentos, sería la instalación de un depósito para almacenar la cal; una bomba dosificadora para la adición de la cal al alpechín y un pHmetro para controlar la adición de la cal necesaria hasta $\text{pH} = 7$.

Se realizaron pruebas en la planta móvil con el fin de confirmar la mejora en el proceso de separación de sólidos neutralizando el alpechín, observándose que la consistencia de los sólidos formados no es la adecuada para proceder a su posterior filtración para disminuir el contenido en agua y poder ser utilizados posteriormente como materia prima de compostaje.

IV.3.2.- TRATAMIENTO CON PRODUCTOS INORGÁNICOS.

Dada la mejora observada en el proceso de floculación al adicionar lechada de cal, cabe pensar que otros coagulantes inorgánicos también podrían mejorar el proceso. Los productos elegidos para realizar los ensayos son el permanganato potásico, dado que además presenta un carácter fuertemente oxidante, y el sulfato de aluminio que es el más utilizado en el tratamiento de aguas residuales.

IV.3.2.1.- Tratamiento con permanganato potásico.

El permanganato potásico (KMnO_4) es un coadyuvante de la floculación, es decir, facilita la formación de los flóculos en aquellos líquidos donde los coloides desestabilizados presentan dificultad para formar flóculos. Además, tiene un fuerte carácter oxidante, esto quiere decir que al entrar en contacto con el alpechín, oxida la materia orgánica existente en el mismo. Las pruebas se realizaron con alpechín procedente de la almazara de Sotoserrano (Salamanca).

El objetivo es conseguir un alpechín cuya fase líquida esté lo más exenta posible de sólidos suspendidos. La característica que interesa optimizar es nuevamente el porcentaje de residuo sólido seco contenido en la fase líquida del residuo una vez tratado.

Para realizar los ensayos, se toman muestras de alpechín de unos 100 mL aproximadamente, adicionando permanganato potásico disuelto en agua, en distintas proporciones y distintas cantidades y posteriormente se somete a una agitación, cuya intensidad es alta en los primeros instantes y luego va decreciendo en el tiempo. Después de la agitación (tres o cuatro minutos) se espera el tiempo suficiente para que se produzca la decantación en las distintas muestras. Una vez decantadas, se toman muestras del líquido sobrenadante mediante pipeteo, que se pesa al igual que una muestra de alpechín inicial (sin tratar), se introducen en una estufa a 105°C , de manera que después de evaporarse el líquido, el residuo sólido seco pueda ser pesado para así calcular el contenido porcentual de residuo sólido del alpechín tratado con permanganato potásico respecto al alpechín sin tratar.

Los factores que pueden influir en el rendimiento del proceso son:

- Envejecimiento del alpechín.
- pH del alpechín.
- Concentración de permanganato potásico.
- Temperatura del alpechín.
- Modo de adicionar el permanganato potásico.

Mediante unos ensayos preliminares, se llegó a las siguientes conclusiones:

- En cuanto al envejecimiento del alpechín, el comportamiento de alpechín es el mismo ante el permanganato potásico con alpechín del día, de una semana y de dos semanas.
- El pH del alpechín tiene influencia en los resultados de las muestras tratadas.
- La concentración de permanganato potásico influye en el comportamiento del alpechín.
- La temperatura a la que se encuentra el alpechín en el momento de añadirle el permanganato potásico no parece demasiado influyente en la formación de los flóculos al realizar pruebas con alpechín frío (10° C) y alpechín caliente (27° C).
- El modo de adicionar el permanganato potásico a la muestra del residuo a tratar no es un factor diferenciador.
- A pesar de que la formación de flóculos es evidente tras estas pruebas, la fase líquida no presenta un aspecto demasiado claro, por lo que además de añadir permanganato será necesario seguir añadiendo floculante.

Por lo tanto, los tres factores que más influyen en el proceso de separación de sólidos suspendidos son la cantidad de permanganato adicionada, pH del alpechín y la cantidad de floculante. Para realizar los ensayos definitivos, las variaciones de estos tres factores son:

- pH: ácido (alpechín de la almazara), neutro y básico (adición de CaO).
- Permanganato potásico: 0,3 a 0,4 g/100 mL de alpechín.
- Floculante: 300 ppm y 700 ppm.

En un primer grupo de experiencias, se añaden a los 100 mL de alpechín (a distintos pH) cantidades de permanganato potásico comprendidas entre 0,3 y 0,4 g.

- Muestra 1: 100 mL de alpechín ácido, 0,3 g de permanganato potásico.
- Muestra 2: 100 mL de alpechín ácido, 0,375 g de permanganato potásico.
- Muestra 3: 100 mL de alpechín ácido, 0,4 g de permanganato potásico
- Muestra 4: 100 mL de alpechín básico, 0,3 g de permanganato potásico.
- Muestra 5: 100 mL de alpechín neutro, 0,3 g de permanganato potásico.
- Muestra 6: 100 mL de alpechín ácido.

A raíz de estos ensayos se observó que las muestras que mejores resultados daban eran las muestras 1, 2 y 3, que la muestra 4 no daba buenos resultados y que la 5 no tiene un comportamiento demasiado diferente al que presentan la 1, 2 y 3. Por lo tanto, para el resto de los ensayos a realizar se analizará solamente el alpechín tal como sale de la almazara.

A continuación, y ya utilizando el alpechín sin neutralizar, se añaden las siguientes cantidades de floculante:

- Muestra A: muestra 1 + 33 mL de floculante de concentración 700 ppm.
- Muestra B: muestra 1 + 33 mL de floculante de concentración 300 ppm.
- Muestra C: muestra 2 + 39 mL de floculante de concentración 700 ppm.
- Muestra D: muestra 2 + 39 mL de floculante de concentración 300 ppm.
- Muestra E: muestra 3 + 33 mL de floculante de concentración 700 ppm.
- Muestra F: muestra 3 + 33 mL de floculante de concentración 300 ppm.
- Muestra G: muestra 6.

Tras la agitación de las distintas muestras y posterior decantación, se observa que la formación de flóculos se desarrolla mejor en la muestra 1 y el líquido presenta un aspecto más claro que el del resto. Esta apreciación se ve reflejada en los resultados obtenidos para el residuo seco de cada una de las muestras.

Se determinó que la muestra de alpechín sin tratar con permanganato potásico necesitaba una cantidad de 42 mL de floculante de concentración 700 ppm para un proceso de floculación aceptable.

En la tabla IV.7 se recogen los resultados obtenidos.

Tabla IV-7: Resultados experimentales utilizando KMnO_4 .

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
A	97,51	108,77	11,26	97,595	0,085	0,7603	52,18
B	103,15	115,22	12,07	103,256	0,106	0,8806	44,62
C	115,03	126,87	11,84	115,131	0,101	0,8538	46,30
D	112,26	126,35	14,09	112,394	0,134	0,9573	39,79
E	112,43	123,36	10,93	112,524	0,094	0,8660	45,50
F	121,37	134,88	13,51	121,504	0,139	1,03	35,17
G	124,16	136,51	12,35	124,356	0,196	1,5900	—

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Aunque aparentemente es una mejora del proceso de separación de la fase sólida del alpechín, pues se reduce el consumo del floculante, para decidir su utilización será necesario determinar el coste de ambos métodos de separación de los sólidos. Teniendo en cuenta que el coste del permanganato potásico es muy superior al coste del floculante y las cantidades necesarias de ambos y la mejora de residuo sólido eliminado que se obtiene, se deduce que esta nueva forma de realizar el proceso de separación de los sólidos del alpechín no es rentable desde el punto de vista económico.

IV.3.2.2.- Tratamiento con sulfato de aluminio.

Una serie de experimentos llevados a cabo en el laboratorio permitieron observar la posibilidad de separar los sólidos suspendidos en el alpechín mediante el tratamiento con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, que es un importante coagulante inorgánico, dentro del grupo de los denominados coagulantes metálicos, muy utilizado en el tratamiento de agua potables y residuales. Las pruebas se realizaron “in situ” con alpechín procedente de la almazara Comunal Sotoserrano Sociedad Cooperativa situada en Sotoserrano (Salamanca). El modo de realizar los ensayos y pruebas fue similar al descrito en el tratamiento del alpechín con disolución de permanganato potásico.

En los distintos ensayos realizados, una vez añadida la disolución de sulfato de aluminio a la muestra de alpechín, se observa la rápida formación de pequeños flóculos que posteriormente decantan con gran facilidad, dejando una fase líquida aparentemente clara, sin partículas sólidas. La característica que interesa optimizar es el porcentaje de residuo sólido seco contenido en la fase líquida del residuo una vez tratado, así como el tiempo de decantación de los sólidos formados.

Los factores que pueden ser tenidos en cuenta a la hora de determinar las condiciones óptimas son:

- Envejecimiento del alpechín.
- pH del alpechín.
- Tipo comercial del sulfato de aluminio.
- Temperatura del alpechín.
- Concentración del sulfato de aluminio.

A las conclusiones a las que se llega después de haber realizado estos ensayos son:

- No se observa diferencia alguna entre los resultados obtenidos con alpechín de distintos periodos de envejecimiento (alpechín del día, de una semana y de dos semanas).

- El alpechín con pH diferentes frente al sulfato de aluminio no presenta un comportamiento diferente, aunque con el alpechín ácido presenta una formación de los flóculos más clara (para el resto de ensayos se utilizará alpechín ácido).
- Hay dos tipos de presentación comercial el sulfato de aluminio: Líquida y sólida. Aparentemente no importará cual se elija ya que el sulfato de aluminio en forma sólida debe disolverse previamente en agua.
- Si se toman muestras a distintas temperaturas, fijando como niveles frío alpechín a 7-10° C y caliente a 27° C, se observa que no existe diferencia apreciable en ambas muestras. Esto es, la temperatura tampoco es un factor tan importante como para tenerlo en consideración, pues el comportamiento del alpechín con el sulfato de aluminio es el mismo.
- Una vez realizadas las pruebas con los dos tipos en que se presenta comercialmente el sulfato de aluminio (líquida y sólida) disuelta en agua en distintas concentraciones; se observa que existen grandes diferencias entre los resultados obtenidos, dependiendo de la concentración de la disolución adicionada a la muestra.
- Se observa que los flóculos formados en el alpechín por la adición de sulfato de aluminio son tan pequeños que resulta difícil la separación de las dos fases (líquida y sólida), por lo que será necesario añadir a la muestra de alpechín y sulfato de aluminio una pequeña proporción de floculante, para que así se formen unos flóculos de mayor tamaño y se facilite su separación.

Por lo tanto, los dos factores que más influyen en el proceso de separación de sólidos suspendidos son la concentración de la disolución de sulfato de aluminio y la concentración de floculante.

Con el fin de minimizar el coste del proceso, se preparo el sulfato de aluminio diluyéndolo en la fase líquida sin sólidos del alpechín tratado y decantado en lugar de agua de red. Tras esta prueba se comprobó que el comportamiento de la muestra era el mismo que con sulfato de aluminio disuelto en agua.

La concentración de la disolución de sulfato de aluminio de la que se parte es del 50%, pues de este modo es como se distribuye comercialmente. A partir de esta concentración se preparan otras disoluciones de distintas concentraciones, concretamente del 25% y del 12,5% en peso.

Una vez tratadas las muestras con la disolución de sulfato de aluminio, se observó la formación de pequeños flóculos que decantan con facilidad. Con el fin de mejorar el proceso de floculación y decantación se probó añadir floculante a distintas concentraciones, para que de este

modo se formen flóculos de mayor tamaño y así poder separar mejor las dos fases. Se observó que las muestras con una concentración de 700 ppm flocculan mejor que con otras concentraciones menores por lo que las pruebas finales se realizar utilizando esa concentración.

Para cada una de las muestras de alpechín (de 100 mL) se añaden distintas cantidades de las disoluciones de sulfato de aluminio de las tres concentraciones citadas anteriormente y a continuación se añade la disolución de floculante hasta clarificar el alpechín. Se realizaron las siguientes pruebas reflejadas en la tabla IV.8:

Tabla IV-8: Sulfato de aluminio y floculante añadidos a las distintas muestras.

Número muestra	Cantidad de alpechín (mL)	Cantidad de sulfato de aluminio (mL)	Cantidad de floculante 700 ppm (mL)
1	100	0,25 (50%)	6
2	100	0,5 (50%)	5,5
3	100	0,7 (25%)	5
4	100	0,5 (25%)	4,5
5	100	1 (12,5%)	5
6	100	2 (12,5%)	5
7	100		

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario indicar que en las muestras de alpechín sin tratar, la cantidad de floculante en una concentración de 700 ppm que es necesario adicionar para una floculación aceptable y una buena decantación es de 16 mL.

Recordando que la característica a optimizar es el porcentaje de residuo sólido seco contenido en la fase líquida del residuo, los resultados que se obtienen se reflejan en la tabla IV.9.

Tabla IV-9: Resultados obtenidos en el tratamiento del alpechín con sulfato de aluminio y floculante.

Muestra	Crisol (g)	Crisol + Alpech. (g)	Alpechín (g)	Crisol + Resid. seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
1	140,92	154,93	14,01	141,04	0,12	0,8565	43,28
2	146,32	157,93	11,61	146,42	0,1	0,8613	42,96
3	140,3	153,26	12,96	140,4	0,1	0,7716	48,90
4	124,16	136,47	12,31	124,23	0,07	0,5686	62,34
5	127,7	139,53	11,83	127,79	0,09	0,7608	49,62
6	118,5	130,57	12,07	118,62	0,12	0,9942	34,16
7	120,45	138,72	18,27	120,72	0,28	1,51	-

Fuente: Elaboración propia.

donde el % residuo retirado tiene que ser máximo (menor presencia de sólidos en el alpechín clarificado), recordando que:

$$\% \text{ residuo retirado} = \frac{\% \text{ residuo seco alpechín sin tratar} - \% \text{ residuo seco alpechín tratado}}{\% \text{ residuo seco alpechín sin tratar}}$$

Respecto al aspecto de la disolución y el tamaño de los flóculos:

- **Muestra 1:** Tiene un buen aspecto, aunque los flóculos no son muy grandes.
- **Muestra 2:** El aspecto es el mismo que en el caso anterior lo mismo que el tamaño de los flóculos.
- **Muestra 3:** Se percibe que los flóculos decantaban muy rápidamente y también un aumento en la claridad del líquido.
- **Muestra 4:** Se observa una mejora sustancial del aspecto del líquido sobrenadante. Los flóculos decantaban muy rápidamente.
- **Muestra 5:** Mejora la decantación de los flóculos formados.
- **Muestra 6:** Se observó que la decantación no mejoraba demasiado.

A la vista de los resultados de la columna de porcentajes de residuo sólido retirado se observa que la muestra con mayor porcentaje retirado es la muestra número 4 (62,34%). Desde el punto de vista cualitativo, en esta muestra la decantación de los flóculos es muy rápida y el aspecto del líquido clarificado es excelente, por lo que las condiciones óptimas para realizar el proceso de separación acelerada de sólidos utilizando sulfato de aluminio como coagulante y añadiendo posteriormente floculante son:

- Concentración del sulfato de aluminio: 25% peso.
- Concentración de floculante: 700 ppm.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

El proceso de separación de los sólidos suspendidos en el alpechín mediante la adición de disolución de sulfato de aluminio y una pequeña cantidad de floculante, supone una optimización del proceso.

La adición de este coagulante (0,5 mL al 25% en peso para 100 mL de alpechín) mejora el proceso de decantación y disminuye la cantidad de floculante a utilizar durante el proceso de separación de los sólidos del alpechín, ya que de 100 mL de alpechín en las mismas condiciones que las consideradas anteriormente necesitan 16 mL del mismo floculante (frente a 4,5 mL). Esto supone una ventaja económica, ya que el sulfato de aluminio tiene un coste menor que el floculante.

Destacar que los flóculos formados en el alpechín tratado con sulfato de aluminio y floculante son de menor tamaño y no son filamentosos como los formados en el alpechín tratado únicamente con floculante. El hecho de que los flóculos sean grandes y filamentosos lleva consigo la formación de natas flotantes.

Esta optimización del proceso de separación de la fase sólida suspendida en el alpechín es aplicable fácilmente, siempre que se considere un determinado tiempo de residencia del alpechín y la disolución de sulfato de aluminio, previamente a la etapa correspondiente en el proceso global de depuración del residuo tratado, el cual es un proceso en continuo. El tiempo de residencia puede variar en función del tipo de alpechín y del contenido de sólidos del mismo.

Las modificaciones necesarias en la planta industrial de depuración del alpechín situada en Sotoserrano (Salamanca), para poder aplicar esta optimización de la etapa de separación de la fase sólida suspendida en el alpechín, serán:

- Instalación de un depósito, para almacenar la disolución de sulfato de aluminio.
- Bomba dosificadora que regule la adición de la disolución de sulfato de aluminio al alpechín.

Sin embargo, aunque el costo de las modificaciones no es elevado, se realizaron unos ensayos en la planta de tratamiento móvil, que se describirá en el siguiente capítulo, con el fin de confirmar la viabilidad técnica de esta mejora. Los resultados que se observaron desaconsejaron su implantación ya que la estabilidad de los sólidos formados no es la adecuada, y al ser trasladados desde el depósito de sólidos al filtro prensa mediante bombas neumáticas, se rompían los flóculos dificultando el proceso de filtración. Aunque en la planta industrial no se considera la filtración de estos sólidos, sino que se someten a una centrifugación, la ruptura de los flóculos durante el traslado desde el depósito de fangos hasta la centrífuga horizontal impediría su proceso de secado debido a la pérdida de consistencia.

IV.3.3.- SEPARACIÓN POR ULTRASONIDOS.

Ultrasonido es el nombre dado a las ondas sonoras que tienen frecuencias superiores a las que pueden ser percibidas por el oído humano (16 kHz). Entre las aplicaciones más importantes de los ultrasonidos cabe destacar los dispositivos de sonar (ecogoniómetro), los detectores de grietas en los materiales metálicos, las “líneas de retardo” ultrasónicas (utilizadas en las calculadoras electrónicas), deshidratación de alimentos, lavado de textiles, tratamiento de residuos, etc. Dentro del tratamiento de residuos han sido utilizados para conseguir la separación y precipitación de partículas finas en humos industriales [Gallego *et al* 2000], eliminación de espumas [Rodríguez *et al* 1985], desecación de lodos en minería [Riera *et al* 2000], tratamiento de residuos líquidos [Jáuregui-Haza *et al* 2008] y [Gogate y Pandit 2004b], etc.

En este apartado se estudia la aglomeración y coagulación en los líquidos, concretamente alpechín, utilizando la tecnología de ultrasonidos. Si se considera el mecanismo de aglomeración de las partículas suspendidas en un gas, es evidente que se pueden obtener resultados similares para las suspensiones de sólidos o líquidos en líquidos si se radia el líquido con ultrasonidos. La aglomeración y separación se producen en todo líquido donde las condiciones sean favorables al establecimiento de ondas estacionarias, pero el efecto es enmascarado por la acción dispersiva de la cavitación que se produce al paso de las ondas acústicas intensas. Por lo tanto, si la intensidad del campo está por debajo de intensidad umbral de cavitación, se produce una aglomeración de las partículas suspendidas bajo la forma sólida, y no hay ni dispersión ni emulsificación.

Todas estas experiencias se realizaron durante los meses de campaña en la propia almazara para que las condiciones de trabajo fueran realistas y el alpechín no sufriera ningún tipo de alteración por envejecimiento. El generador ultrasónico de laboratorio utilizado fue el modelo *Sonifier 450* de *Branson Ultrasonics Corporation*, cuyos componentes principales son la fuente de alimentación, el convertidor y el silbato. Dispone de un temporizador de 0 a 15 min, aunque también puede funcionar ininterrumpidamente, controlador de amplitud de onda, medidor de nivel de potencia y selector de ocupación de ciclo.

IV.3.3.1.- Experimentos realizados.

Una serie de experimentos preliminares realizados en el laboratorio, puso de relieve la necesidad de realizar de nuevo un diseño de experimentos para controlar este proceso.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

En este caso se plantea el diseño de experimentos para el Proceso de Separación de Sólidos por Ultrasonidos del alpechín procedente de la almazara Comunal Sotoserrano Sociedad Cooperativa situada en Sotoserrano (Salamanca).

DETERMINACIÓN DEL OBJETIVO.

Se deben definir los parámetros que se van a medir y fijar sus valores para alcanzar el estado óptimo que se desea en el proceso estudiado (lograr un residuo líquido lo más exento posible de sólidos). Para medir el porcentaje de residuo sólido seco contenido en el líquido se pesan las muestras del alpechín inicial y del alpechín tratado y se introducen en una estufa a 105° C hasta pesada constante, de manera que después de evaporarse el líquido el residuo sólido seco pueda ser nuevamente pesado para conocer el contenido porcentual y realizar las comparaciones oportunas. Las muestras del denominado alpechín sin sólidos se toman de la fase líquida claramente diferenciada entre la fase de sólidos que precipitan y los que flotan.

ENSAYOS PRELIMINARES.

Estos primeros ensayos sirvieron para definir una serie de condiciones de trabajo. Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

- No se observa mucha diferencia entre los resultados obtenidos entre el alpechín frío (10° C) y el caliente (27° C).
- Con potencias del orden de 20 a 30 W no se observa ningún tipo de aglomeración o separación.
- Fijando el Control de Salida en una potencia del orden de 45 W, y un tiempo de tratamiento de aproximadamente dos minutos se observa un calentamiento del líquido y la aparición de grumos dentro del recipiente donde se realiza el experimento.
- Si se deja reposar una muestra de alpechín tratada de la forma anterior se observa que la mayoría de los sólidos ascienden formando una capa flotante, mientras que una minoría precipita. De esta forma se obtiene una capa de líquido intermedia que tiene un menor contenido en sólidos que el líquido inicial.
- Si la punta del silbato ultrasónico se introduce muy poco, dejándola al mismo nivel que la superficie del líquido, se observa la introducción de aire en la muestra tratada y que de esta forma los sólidos ascienden por flotación mucho más rápidamente a la superficie.
- A primera vista cuando se selecciona la Ocupación de Ciclo constante el proceso de aglomeración funciona mejor.

- Se aprecia una disminución considerable de la cantidad de sólidos precipitados cuando se elimina la adición de talco en el proceso productivo de la obtención del aceite de oliva. Esto era de esperar puesto que al no añadir talco también disminuye la cantidad de sólidos suspendidos en el alpechín, pero habrá que estudiar hasta qué punto influye este factor.
- Si con el alpechín que sale directamente de la almazara no se logra la separación, siempre es posible someter al alpechín a un proceso de neutralización por adición de lechada de cal. En estas circunstancias se distinguen perfectamente diferenciadas las tres fases antes aludidas: sólidos que flotan, líquida y sólidos que precipitan. A la vista de este resultado se hicieron pruebas añadiendo cal hasta pH básico sin observarse mejoras con respecto a pH neutro.

DETERMINACIÓN DE FACTORES Y NIVELES.

Analizados los experimentos preliminares, los factores que influyen en el rendimiento del proceso parecen ser los siguientes:

- Potencia suministrada por el generador de ultrasonidos.
- Tiempo de tratamiento.
- Porcentaje de Ocupación de Ciclo.
- Distancia que se introduce la punta del silbato.
- Acidez del alpechín.
- Temperatura del líquido.
- Sustancias adicionadas durante el proceso industrial como por ejemplo el talco.

Los ensayos preliminares pusieron de relieve la influencia preponderante del nivel de potencia elegido, ya que a partir de un cierto valor se produce el fenómeno y a potencias bajas no se produce ningún tipo de separación. Puesto que parece clara la necesidad de fijar la potencia a un valor que permita que se produzca el fenómeno, parece lógico pensar que son el resto de factores son los que realmente hay que adecuar para lograr la optimización del proceso. Se fija el Control de Salida en el valor 6, correspondiente a una potencia de salida de 45 W, que garantiza la aglomeración. Otros factores que favorecen la separación son la neutralización del alpechín y la presencia de aire cuando el silbato se sitúa en la superficie del líquido, por lo que son dos factores que se fijan a priori (aunque posteriormente se estudiará su influencia).

ARREGLO L16.

Tras estas estimaciones se consideran cuatro factores de influencia que toman los valores que se indican en la tabla IV.10. Al no tener experiencias anteriores en las que apoyarse se escoge un arreglo completo para poder estudiar y considerar todas las interacciones que puedan producirse en el proceso, dado que son sólo 4 los factores de influencia, lo que lleva a un arreglo ortogonal L16 (2^4).

Tabla IV-10: Factores considerados para el arreglo ortogonal L 16.

FACTOR		NIVELES	
		1	2
Adición de talco	A	no	1%
Tiempo de tratamiento	B	1,5 min	5 min
Ocupación de ciclo	C	Constante	60%
Temperatura	D	Frio (10° C)	Caliente (27° C)

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

El número de experimentos para 4 factores considerando 2 niveles de cada uno es $2^4 = 16$. La tabla correspondiente será la IV.11.

Las columnas del arreglo se asignan de la siguiente forma:

- | | | |
|---------|-----------|--------------|
| 1.- A | 6.- BxC | 11.- AxBxC |
| 2.- B | 7.- AxBxC | 12.- CxD |
| 3.- AxB | 8.- D | 13.- AxCxD |
| 4.- C | 9.- AxD | 14.- BxCxD |
| 5.- AxC | 10.- BxD | 15.- AxBxCxD |

Tabla IV-11: Experimentos correspondientes al arreglo ortogonal L16.

Ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

Fuente: Elaboración propia.

REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO Y RECOPIACIÓN DE DATOS.

Como ya se ha dicho los experimentos se realizaron en el mismo lugar donde estaba situada la almazara para no dar lugar a alteraciones en el alpechín que pudieran falsear los resultados obtenidos, que se recogen en la tabla IV-12.

Tabla IV-12: Datos recopilados a partir del diseño completo L16.

Ensayo	Crisol (g)	Crisol + Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol + Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
A1	168,99	201,14	32,15	169,64	0,65	2,02	MEDIA A1, A2 y A3 2,42
A2	196,52	247,40	50,88	197,92	1,40	2,75	
A3	123,75	161,54	37,79	124,69	0,94	2,49	
1	145,57	204,83	59,26	146,43	0,86	1,45	39,95
2	137,77	196,75	58,98	138,69	0,92	1,55	35,85
3	98,13	157,33	59,20	99,00	0,87	1,47	39,28
4	166,82	226,03	59,21	167,73	0,91	1,54	36,29
5	193,98	253,58	59,60	194,88	0,90	1,52	37,30
6	121,65	180,24	58,59	122,58	0,93	1,59	34,42
7	121,36	180,50	59,14	122,25	0,89	1,51	37,52
8	221,12	280,93	59,81	222,05	0,93	1,56	35,68
9	218,64	277,94	59,30	219,55	0,91	1,54	36,38
10	143,24	201,91	58,67	144,15	0,91	1,55	35,91
11	144,52	204,35	59,83	145,45	0,93	1,55	36,08
12	119,93	179,49	59,56	120,86	0,93	1,56	35,40
13	132,94	191,76	58,82	133,87	0,93	1,58	34,57
14	128,01	189,40	61,39	128,98	0,97	1,59	34,39
15	131,52	192,53	61,01	132,47	0,95	1,56	35,66
16	146,34	205,62	59,28	147,27	0,93	1,58	34,87

Fuente: Elaboración propia.

Los porcentajes de residuo sólido seco retirado en todos los ensayos son los datos que se introducen en el software de tratamiento de datos ANOVA, puesto que es la característica a optimizar en el proceso.

La tabla IV.13 ofrece los resultados finales de la importancia de cada uno de los grados de libertad.

Tabla IV-13: Contribución de los factores e interacciones.

Nº columna	Factor o interacción	Contribución (%)
1	A	26,82
2	B	18,02
3	AxB	
4	C	
5	AxC	
6	BxC	2,18
7	AxBxC	
8	D	30,73
9	AxD	14,60
10	BxD	
11	AxBxD	
12	CxD	
13	AxCxD	
14	BxCxD	
15	AxBxCxD	
	Error (e)	7,65

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

A la vista de los porcentajes de contribución se puede precisar que el campeón sobre el papel corresponde a la combinación de los niveles (A1 B1 C1 D1), es decir, al alpechín sin adición de talco, con un tratamiento de 1,5 min, ocupación total de ciclo o constante y a temperatura ambiente (entendiéndose por tal 10° C).

El factor que más influencia tiene es la temperatura del alpechín. Parece lógico que no sea necesario tratar el alpechín caliente puesto que en el proceso ultrasónico el líquido se calienta debido a fricciones y rozamientos.

La adición de talco tampoco favorece el proceso, resultado lógico ya que cuanto menos haya que separar mejor transcurrirá el proceso.

El tiempo de tratamiento influye también en el proceso no produciéndose mejora del mismo cuando se traspasa un cierto intervalo.

El factor que no influye es la selección de Ocupación de Ciclo. Realmente esta opción se utiliza para disminuir el calentamiento que se produce en los líquidos cuando se da el fenómeno de cavitación. Con un ciclo no constante el calentamiento es menor.

A la vista de los porcentajes de contribución se deduce la interacción existente entre el factor temperatura y adición de talco. La otra interacción influyente es fácilmente explicable puesto que es lógico, para mantener un nivel medio óptimo de potencia suministrada, que cuanto más dure el tratamiento sea más favorable elegir una ocupación de ciclo no constante.

A la vista de que en el diseño anterior se habían incluido factores sin influencia se decide realizar uno nuevo a partir de la experiencia obtenida, teniendo en cuenta dos de los tres factores que se habían fijado y añadiendo uno que a lo largo de la experimentación utilizando otros sistemas de separación se observó que puede influir en el proceso, concretamente la dilución del alpechín. Realizando un diseño completo para 3 factores, corresponde un arreglo ortogonal L8 (2^3).

ARREGLO L8.

Se parte de los niveles óptimos de los factores controlados en el experimento anterior que se consideran fijos en la realización de este arreglo, de manera que se realiza el experimento con el alpechín frío y sin adicionarle talco, con un tiempo de tratamiento de 1,5 min y con el ciclo de ocupación constante. Se sigue con el mismo nivel de potencia por las mismas razones que antes se explicaron y se controlan los siguientes factores con sus correspondientes niveles reflejados en la tabla IV.14:

Tabla IV-14: Factores considerados para el arreglo ortogonal L8.

FACTOR	NIVELES	
	1	2
Acidez del alpechín	E Ácido	Neutro
Dilución	F Sin diluir	Diluido al 50%
Introducción punta	G Hasta la marca	Superficial

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se elige de nuevo un arreglo ortogonal completo para asegurarnos de que no se está despreciando ninguna interacción influyente. Por lo tanto, se deben realizar $2^3 = 8$ experimentos lo que conduce a la realización de un L8. La tabla correspondiente será la IV.15.

Tabla IV-15: Experimentos correspondientes al arreglo ortogonal L8.

Ensayo	E	F	ExF	G	ExG	FxG	ExFxG
1	1	1	1	1	1	1	1
2		1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia.

REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO Y RECOPIACIÓN DE DATOS.

Los análisis se realizaron de la misma forma que en el arreglo anterior. Los resultados obtenidos del experimento realizado por triplicado se recogen en la tabla IV.16.

En este caso hay que tener en cuenta que el residuo sólido seco de las muestras diluidas habrá que multiplicarlo por dos para que los datos sean comparables y se sepa realmente el sólido que se pierde. De esta forma:

Residuo seco Rectif. es igual a Residuo seco para las muestras no diluidas y a 2 x Residuo seco para las diluidas.

% Residuo seco es el porcentaje del residuo sólido seco contenido en la muestra, de forma que valdrá para todas las muestras.

$$\% \text{ Residuo seco} = \frac{\text{Residuo seco rectific.}}{\text{Alpechín}} \times 100$$

Tabla IV-16: Datos recopilados a partir del diseño L8.

Ensa.	Crisol (g)	Crisol+ Alpechín (g)	Alpechín (g)	Crisol+ Residuo seco (g)	Residuo seco (g)	Residuo seco rectif. (g)	%Residuo seco	%Residuo retirado
A1	98,46	166,28	67,82	99,97	1,51		2,23	MEDIA A1,A2yA3 2,23
A2	102,82	167,09	64,27	104,22	1,40		2,18	
A3	101,53	175,28	73,75	103,20	1,67		2,26	
1-1	140,31	189,88	49,57	141,27	0,96	0,96	1,94	13,00
1-2	115,50	163,64	48,14	116,42	0,92	0,92	1,91	14,35
1-3	128,71	176,95	48,24	129,15	0,44	0,88	1,82	18,39
1-4	124,15	176,23	52,08	124,58	0,43	0,86	1,65	26,00
1-5	127,70	176,85	49,15	128,37	0,87	0,87	1,77	20,62
1-6	142,41	191,30	48,89	143,22	0,81	0,81	1,66	25,56
1-7	118,49	167,72	49,23	118,88	0,39	0,78	1,58	29,15
1-8	94,99	143,97	48,98	92,37	0,38	0,76	1,55	30,49
2-1	163,55	213,17	49,62	164,55	1,00	1,00	2,02	9,42
2-2	190,81	240,15	49,34	191,73	0,92	0,92	1,86	16,59
2-3	225,92	273,69	47,77	226,32	0,40	0,80	1,67	25,11
2-4	118,43	168,02	49,59	118,83	0,40	0,80	1,61	27,80
2-5	146,33	194,96	48,63	147,23	0,90	0,90	1,85	17,04
2-6	149,33	198,99	49,66	150,20	0,87	0,87	1,75	21,52
2-7	146,03	195,17	49,14	146,45	0,42	0,84	1,71	23,32
2-8	152,29	200,32	48,03	152,66	0,37	0,74	1,54	30,94
3-1	145,65	195,13	49,48	146,63	0,98	0,98	1,98	11,21
3-2	146,57	196,04	49,47	147,53	0,96	0,96	1,94	13,00
3-3	187,94	187,94	47,78	140,57	0,41	0,82	1,72	22,87
3-4	147,70	197,13	49,43	148,08	0,38	0,76	1,54	30,94
3-5	146,65	196,30	49,65	147,54	0,89	0,89	1,79	19,73
3-6	98,06	147,99	49,93	98,94	0,88	0,88	1,76	21,08
3-7	192,23	241,76	49,53	192,63	0,40	0,80	1,62	27,35
3-8	92,99	142,56	49,57	93,36	0,37	0,74	1,49	33,18

Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente los porcentajes de residuo sólido seco retirado son los datos que se introducen en el software de tratamiento de datos ANOVA.

La tabla IV.17 ofrece los resultados finales de la importancia de cada uno de los grados de libertad.

Tabla IV-17: Contribución de los factores e interacciones.

Nº columna	Factor o interacción	Contribución (%)
1	E	23,81
2	F	47,49
3	ExF	2,96
4	G	14,00
5	ExG	
6	FxG	
7	ExFxG	
8	error (e)	11,73

Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

El campeón sobre el papel corresponde al tratamiento (E₂, F₂, G₂), es decir, el proceso de separación funciona mejor con una neutralización previa del alpechín, con el silbato introducido superficialmente y con una dilución al 50%. Esto es interesante desde el punto de vista técnico, sin embargo desde el punto de vista económico es un contrasentido si se considera el proceso completo de depuración en el que se halla inmersa esta etapa de separación de sólidos. Como ya se ha explicado la depuración tiene dos etapas básicas que son la separación de sólidos y una fase posterior de evaporación del líquido sin sólidos procedente de la primera. Este proceso de evaporación requiere un gran aporte energético, lo que conlleva un fuerte gasto dentro del costo de explotación de la planta. Si se diluye el alpechín para mejorar la separación se duplica la cantidad de líquido a evaporar, lo que hace que esta medida sea totalmente errónea económicamente hablando. De esto se deduce que el campeón económico es el tratamiento (E₂, F₁, G₂), alpechín neutro, sin diluir y con la punta superficial.

EXPERIMENTO CONFIRMATORIO.

Recopilando resultados se tiene un óptimo económico para la siguiente combinación de los factores:

- Potencia de 45 W.
- Alpechín sin talco adicionado.
- Tiempo de tratamiento 1,5 min.
- Ocupación de ciclo constante.
- Temperatura de 10° C.
- Alpechín neutro.
- Alpechín sin diluir.
- Punta del silbato al mismo nivel que la superficie del líquido.

Para hacer una estimación del porcentaje de sólido retirado con esta combinación de factores se debe realizar el llamado experimento confirmatorio que consiste en repetir el tratamiento un número determinado de veces. Sin embargo, este experimento en este caso es innecesario puesto que la combinación de los niveles de los factores que constituyen el óptimo es una de las ensayadas en el último arreglo, en concreto se corresponde con el tratamiento 6. De esta forma, tomando de la tabla IV.17, los tres datos correspondientes a este experimento la estimación de la media es:

$$Media\ estimada = \frac{25,75\% + 21,29\% + 20,81\%}{3} = 22,62\%$$

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Los datos recopilados precisan las condiciones de funcionamiento que optimizan el proceso de separación por ultrasonidos. La conclusión que se deriva de los datos es que la aplicación propuesta es técnicamente viable si bien dependiendo del tipo de alpechín tratado los resultados pueden ser más o menos satisfactorios, siendo necesaria la aportación de floculante para conseguir un nivel de separación adecuado.

La implantación a nivel industrial de este proceso de separación de sólidos no es recomendable por varios motivos, entre ellos el ahorro en reactivos químicos no compensa el coste económico del sistema, las dificultades técnicas del mismo, la incertidumbre de su funcionamiento a escala industrial, etc.

**V.- PLANTA PILOTO MÓVIL DE
DEPURACIÓN DE ALPECHÍN.**

V.1.- INTRODUCCIÓN.

Con el fin de comprobar que los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio se reproducen a mayores niveles de producción, conocer la influencia del cambio de escala, y antes de construir plantas a nivel industrial, se propone la construcción de una planta piloto móvil de demostración sobre la plataforma de un camión tráiler para la depuración y aprovechamiento integral de alpechines, de 130 kg/h de capacidad. Para la realización del diseño, construcción y puesta en marcha de la planta se obtuvo una subvención del Ministerio de Medioambiente de España, dentro del programa PITMA 722D (Programa Industrial y Tecnológico Medioambiental - 1.993) de 53.556,19 €. La distribución de equipos sobre la plataforma se refleja en la figura V-1 y en la fotografía de la figura V-2 se muestra una vista general de la planta móvil.

CALDERA	EVAPORACIÓN	FLOCULACIÓN	VARIOS
---------	-------------	-------------	--------

Figura V-1: Distribución de equipos sobre plataforma móvil.



Figura V-2: Vista general de la planta móvil.

Como se ha indicado en el capítulo IV, el proceso desarrollado consta básicamente de dos etapas: separación acelerada de sólidos y evaporación. Dado que el proceso de evaporación del alpechín estaba suficientemente constatado como se indica en el apartado II.1.5, se estudió a nivel de laboratorio la optimización de la etapa previa de separación acelerada de sólidos presentes en el alpechín, utilizando reactivos específicos que facilitaran la separación de los sólidos. De esta manera se evita el inconveniente fundamental del proceso de evaporación, que son las necesarias paradas para limpieza de las incrustaciones que se producen en los tubos del evaporador.

V.2.- ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA PILOTO MÓVIL.

En base a los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio, se diseñó la planta móvil de tratamiento de alpechines, que consta de las siguientes etapas de proceso.

COAGULACION-FLOCULACION.

Mediante reactivos específicos se procede a la coagulación y floculación de los sólidos que contiene el alpechín en suspensión. El precipitado originado en esta etapa se aísla del resto de la disolución, mediante su decantación y/o flotación y posterior prensado.

ELIMINACION DE LA DUREZA.

Se elimina la dureza temporal del alpechín haciéndolo circular dentro de un intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales, fundamentalmente Ca y Mg, e impiden su deposición en las tuberías. Este tratamiento hace que las sales formen sólidos en suspensión que se eliminan junto con los fangos de la materia orgánica que se encontraba en forma de flóculos en el alpechín.

EVAPORACION.

La disolución procedente del alpechín, una vez pretratada como se ha indicado, se somete a evaporación en un equipo que opera en continuo. Al eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos en las etapas anteriores, la temperatura del proceso de evaporación se sitúa en torno a los 100° C, no siendo necesario efectuar esta operación a vacío.

Mediante un proceso de evaporación con flash, en una etapa previa a la propia evaporación, se eliminan la mayoría de los volátiles orgánicos del alpechín. La operación en continuo permite retirar la disolución concentrada que se forma en el evaporador, la cual se puede reciclar a la etapa de coagulación-floculación o utilizar este concentrado como materia prima para la fabricación de abonos líquidos orgánicos que se pueden utilizar para el suelo del olivar como fuente de materia orgánica.

FILTRO DE CARBON ACTIVO.

Un tratamiento final del agua condensada con carbón activo granulado asegurará la total eliminación de los compuestos fenólicos que acompañan en pequeñas proporciones al agua recuperada del alpechín. Esto hace que el agua obtenida se pueda reutilizar en el proceso de la propia almazara o verter a un cauce con total garantía de cumplimiento de la normativa vigente.

TRATAMIENTO DE FANGOS.

Los fangos obtenidos mediante la floculación del alpechín se someten a un proceso de secado mecánico con un filtro prensa, procediendo posteriormente a una adecuación para la aplicación a que se destinen (piensos, compost, etc.).

La sequedad del fango de salida del filtro prensa suele ser del 50%, lo que permite su fácil manejo, transporte y almacenamiento.

V.3.- DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO MÓVIL.

La planta piloto móvil se instaló sobre la plataforma de un camión tráiler, por lo que, debido a la limitación de espacio, la capacidad máxima de tratamiento de alpechín fue de 130 kg/h. Su movilidad permitió realizar ensayos en distintos lugares con diferentes tipos de alpechines, asegurándose de esta forma su versatilidad.

El diagrama de bloques correspondiente se refleja en la figura V-3.

La planta propuesta consta de los siguientes sistemas y equipos:

- - Sistema térmico.
- - Sistema de separación de sólidos.
- - Sistema de evaporación de alpechín con cámara de flash y condensador parcial.
- - Equipo magnético de tratamiento del alpechín.
- - Sistema de desodorización del agua por adsorción.
- - Equipo compresor de aire.
- - Equipo de generación eléctrica.
- - Instalación eléctrica y neumática.

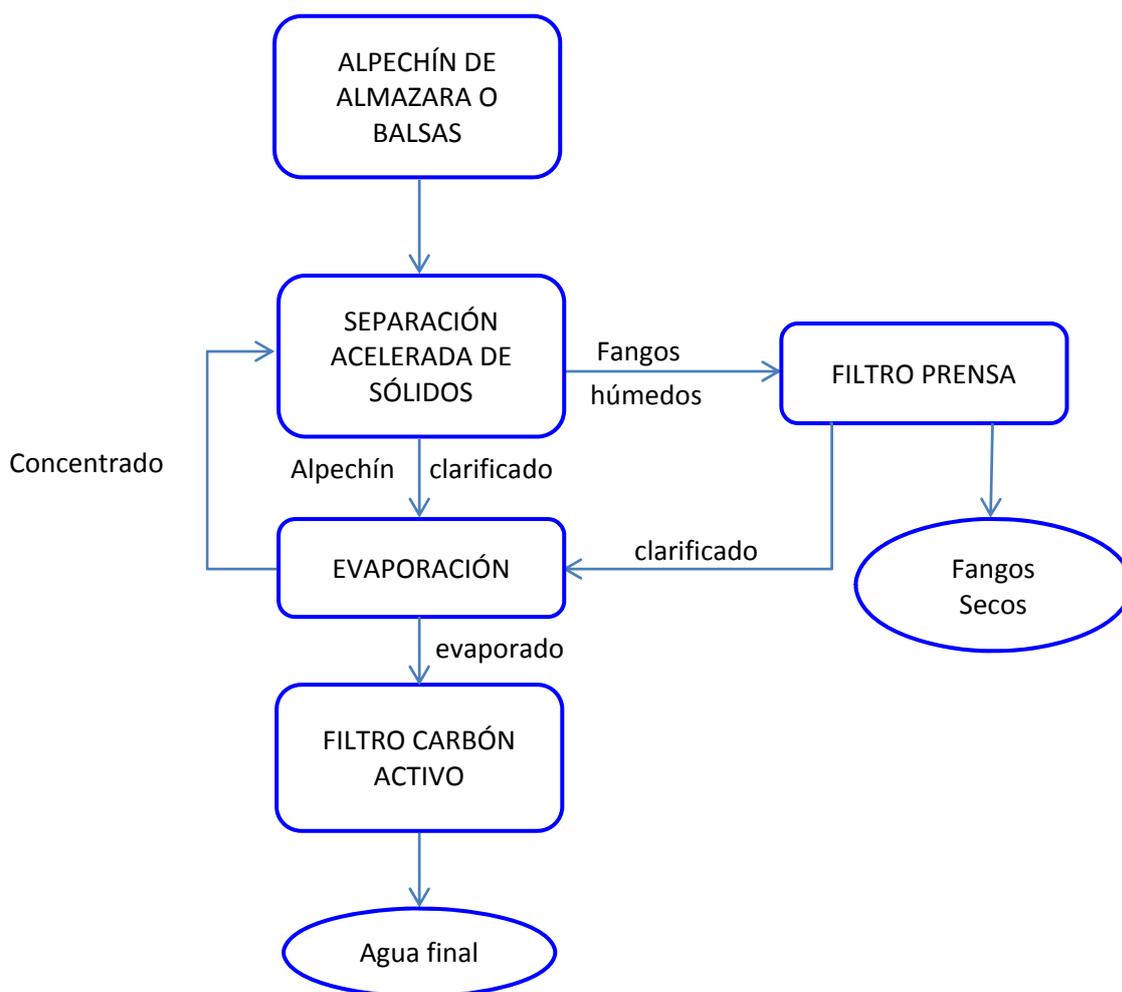


Figura V-3: Diagrama de bloques del proceso de la planta piloto móvil.

V.3.1.- SISTEMA TÉRMICO.

La elección del fluido caloportador es de vital importancia en el diseño de este sistema. Dado que el proceso de evaporación se realiza a presión atmosférica, las condiciones de operación para el fluido caloportador corresponden con valores de baja presión ($< 10 \text{ kg/cm}^2$) y temperatura media (entre 140 y 200° C), por lo que los tipos de caldera más apropiados [AENOR 1991] y [Shields 1982] son:

- Caldera de fluido térmico (la que utiliza como medio de transporte de calor aceite térmico).
- Caldera de vapor (la que utiliza como medio de transporte de calor el vapor de agua).

Desde el punto de vista de seguridad y constructivo, la caldera de aceite térmico es la más adecuada para los objetivos pretendidos. Presenta las siguientes ventajas [Kohan 2000]:

- No precisa de una sala de calderas, pudiendo emplazarse en cualquier lugar de la planta.
- No hay desgaste en el generador ni en las tuberías ya que es un líquido no corrosivo.
- Mínimo mantenimiento.

Existen diversas empresas constructoras de calderas de aceite térmico, decidiéndose en este caso por la empresa SUGIMAT, S.L., que se ocupó del montaje y puesta en marcha del equipo en la plataforma del camión. La principal dificultad en el diseño de este sistema fue la presencia de una chimenea de 6 m de altura en un camión tráiler. Para solventar este problema se introdujo un sistema neumático de abatimiento de la chimenea, que permitía su elevación para operar y su recogida en los desplazamientos de la planta.

Las características de los elementos que constituyen este equipo son las siguientes:

- Caldera de aceite térmico de ejecución compacta con aislamiento, de características:
 - Potencia: 100.000 kcal/h.
 - Temperatura prevista de trabajo: 180° C.
 - Ejecución: Vertical.
 - Colectores ida/retorno: DN-40.
 - Quemador automático de gasóleo C de una marcha.
 - Cuadro eléctrico completo con sistema de maniobra, control y seguridades.
 - Grupo motobomba de circulación de aceite sin necesidad de refrigeración y de las siguientes características:
 - ✓ Caudal 10 m³/h.
 - ✓ Altura manométrica 294,2 kPa.
 - ✓ Motor (Potencia a 2.900 rpm) 2,24 kW.
 - Depósito central de aceite térmico con sistema antioxidación, que sirve de plataforma para el sistema térmico.
 - Los elementos formando una ejecución compacta, realizándose la conexión de la caldera con el grupo de bombeo a través de:
 - ✓ 3 válvulas de fuelle PN-16 DN-40.
 - ✓ 1 filtro PN-16 DN-40.
 - ✓ 2 válvulas de vaciado.
 - ✓ 1 manómetro.
 - ✓ 1 válvula de fuelle bypas.

- Depósito de expansión de aceite con interruptor de nivel automático y tubería de conexión con depósito central DN 40.
- Chimenea metálica abatible de 6 m de altura, con un sistema de recogida con cilindro neumático, electroválvula y sistema de cierre. Conducto de unión caldera/chimenea con clapeta de seguridad.
- 300 L de aceite térmico sintético.
- Grupo de presión de gasóleo completo y acometida al quemador.
- Montaje y puesta en marcha del equipo, tuberías y su total aislamiento térmico realizado en coquilla de 50 mm y acabado en aluminio.

V.3.2.- SISTEMA DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS.

Para abordar el diseño de este sistema, hay que tener presente que el decantador de alpechín floculado es el elemento que más influye en su adecuado funcionamiento. A partir de los ensayos realizados en el laboratorio descritos en el capítulo IV del presente trabajo, se decidió que con un tiempo de residencia de 2-3 h se produce la correcta separación de los sólidos del alpechín del líquido clarificado, lo que supone un volumen del decantador de aproximadamente 350 L. El resto de los componentes de este sistema estaban supeditados a este volumen y al espacio del que se dispone.

El equipo de separación de sólidos está compuesto por los siguientes elementos situados sobre una plataforma metálica de 4 x 2 m, según se recoge en el esquema de la figura V-4.

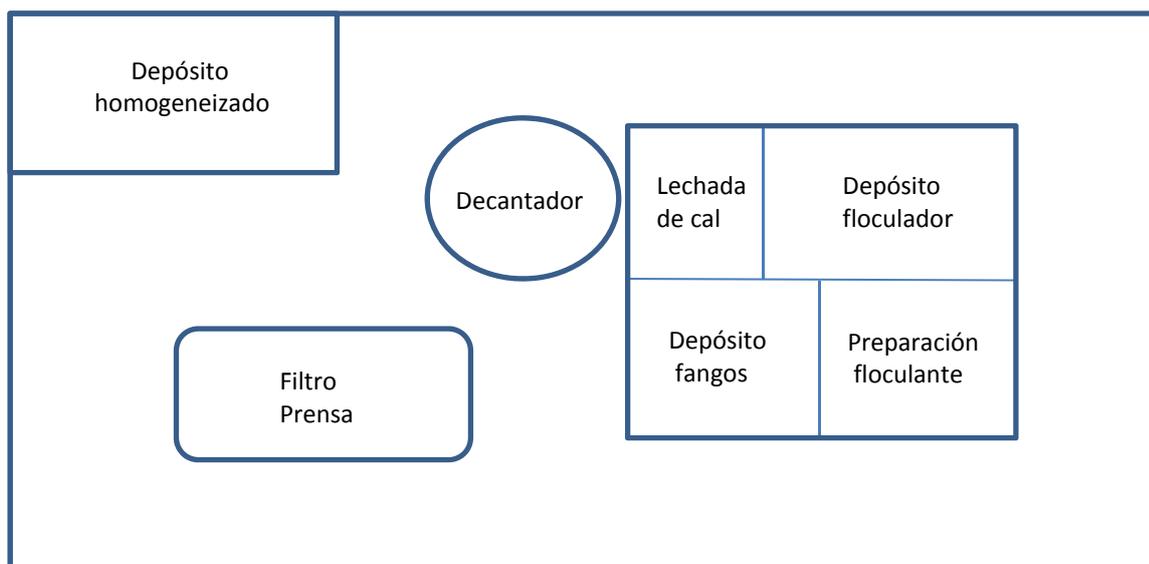


Figura V-4: Esquema de la fase de separación acelerada de sólidos.

En la figura V-5 se observa una fotografía de este sistema.



Figura V-5: Sistema de separación acelerada de sólidos.

Los elementos que constituyen este sistema de separación acelerada de sólidos son:

- Filtro prensa con dispositivo de cierre, bomba hidráulica de accionamiento manual, protección anticorrosiva y equipado con seis placas filtrantes de cámara.
- 2 Bombas, una de alimentación para filtro prensa y otra para el depósito pulmón de fangos de las siguientes características:
 - Tipo de bomba: De doble membrana.
 - Caudal: 50 L/min.
 - Presión final máximo: 7 bares.
- 8 Bombas, tres de dosificación para lechada de cal, cloruro férrico y floculante, y otras cinco para distintas corrientes del proceso de las siguientes características:
 - Tipo de bomba: De doble membrana.
 - Caudal: 15 L/min.
 - Presión final máxima: 7,5 bares.

- Instalación manual de preparación de floculante compuesto por:
 - 1 Depósito para la preparación del floculante, de 350 L de capacidad, fabricado en acero inoxidable, con tabuladura de aspiración para la bomba dosificadora.
 - 1 Agitador con eje y hélice en acero inoxidable.
 - 1 Dispensador de floculante.
 - 1 Embudo en polipropileno para la alimentación del floculante en polvo al dispersor.
- Depósito de floculación de 500 L con agitador en acero inoxidable.
- Decantador de 350 L para alpechín floculado, cilíndrico de base troncocónica en acero inoxidable.
- Depósito de homogeneización de fangos de 350 L con agitador en acero inoxidable con tabuladura de entrada de fangos y brida de salida de los mismos.
- Depósito de 200 L con agitador para preparación de lechada de cal en acero inoxidable.
- Depósito homogeneizador de 650 L para el alpechín clarificado en acero inoxidable.
- 2 Mezcladores en línea para adicionar lechada de cal y cloruro férrico.
- Tuberías y valvulería de interconexión.

V.3.3.- SISTEMA DE EVAPORACIÓN.

El sistema de evaporación, (figura V-6), está compuesto por los siguientes equipos y elementos:

- Precalentador de alpechín.
- Cámara de flash.
- Evaporador multitubular.
- Condensador parcial.
- Equipo de control del sistema de evaporación.



Figura V-6: Sistema de evaporación.

A diferencia del sistema térmico y del sistema de separación acelerada de sólidos, los equipos y elementos que forman el sistema de evaporación van anclados directamente a la plataforma del camión tráiler. El calorifugado de los equipos y tuberías se realizó con coquilla de 50 mm y acabado en aluminio.

V.3.3.1.- Programa de cálculo STX.

El diseño del precalentador y del evaporador se llevó a cabo mediante el programa de cálculo STX (Shell and Tube Heat Exchanger Design) de la empresa Hiprotech Engineering Software (HTC). Este trabajo de diseño sirvió para la realización de un Proyecto Fin de Carrera que obtuvo la máxima calificación de Sobresaliente con Honor [Martín 1997].

De los tres mecanismos de transmisión de calor (radiación, conducción y convección) que, en cada caso particular, se dan en mayor o menor medida, para este tipo de intercambiadores de calor el mecanismo principal es el de convección (aunque una pequeña parte de calor se transmita por conducción), ya que se produce intercambio de calor entre dos fluidos, que se mueven para mejorar el rendimiento, a través de un sólido donde siempre se produce transmisión de calor por conducción, por lo que hay tres zonas de transmisión de calor:

- Fluido1-sólido.
- Sólido (sólo conducción).
- Sólido-fluido2.

El mecanismo de conducción está definido por la ecuación de Fourier y tiene fácil solución para el caso de tubos. La determinación del coeficiente individual de transmisión de calor se realiza mediante relaciones experimentales, para situaciones y geometrías concretas, en función de relaciones adimensionales. Los programas de cálculo por ordenador utilizan estas ecuaciones para diseñar intercambiadores de calor, dividiendo el intercambiador en varias zonas para mejorar los resultados. El programa STX divide el intercambiador en 7 zonas dentro de cada cual toma temperaturas medias para calcular las propiedades térmicas, minimizando de esta manera el posible error en los cálculos de su diseño.

Por todo lo expuesto, la precisión que tiene el programa STX en el cálculo de los coeficientes individuales de película, depende de varios factores (tipo de proceso, precisión de los datos de entrada, etc.) siendo de aproximadamente un $\pm 15\%$ para flujo turbulento en tubos.

Como se detalló en el apartado V.3.1, dadas las condiciones de trabajo (temperatura, pérdidas de carga, caudal, corrosividad de los fluidos, espacio disponible, etc.) se eligió aceite térmico como fluido calefactor, por lo que los líquidos que intervienen en el proceso son alpechín y aceite térmico. Con el fin de simplificar los cálculos, se tomaron como propiedades térmicas del alpechín las mismas que tiene el agua, ya que el error cometido sería despreciable. Las propiedades térmicas que se utilizaron en el cálculo se interpolaron entre los valores reflejados en las tablas V-1 y V-2.

Tabla V-1: Propiedades físicas del alpechín.

Temperatura			20° C	140° C
PARÁMETRO			VALOR	VALOR
Densidad	ρ	kg./m ³	1.004	922,40
Calor Específico	C_p	kJ/kg ° C	4,183	4,288
Conductividad Térmica	k	W/m ° C	0,60	0,68
Viscosidad dinámica	μ	mPa.s	1,002	0,197

Fuente: Elaboración propia.

Tabla V-2: Propiedades físicas del aceite térmico.

Temperatura			20° C	300° C
PARÁMETRO			VALOR	VALOR
Densidad	ρ	kg./m ³	877,50	723,00
Calor Específico	C_p	kJ/kg ° C	1,842	2,805
Viscosidad Cinemática	ν	m ² /s	70 10 ⁻⁶	0,4 10 ⁻⁶
Conductividad Térmica	k	W/m ° C	0,116	0,105
Viscosidad dinámica	μ	mPa.s	61,425	0,289

Fuente: SUGIMAT, S.L.

V.3.3.2.- Precalentador de alpechín.

El primer equipo que forma este sistema es un intercambiador de calor de carcasa (por donde circula el aceite térmico) y tubos (alpechín), tipo BEU que corresponde a las siguientes características:

- B Cabezal del lado de tubos tipo casquete (cubierta integrada).
- E Carcasa de un paso.
- U Tubos en U.

Para realizar el diseño del equipo mediante el programa STX se necesitó una serie de datos geométricos básicos y datos térmicos del alpechín y del aceite térmico, que se reflejan en las tablas V-3 y V-4.

Tabla V-3: Datos geométricos básicos para el precalentador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo tubos	BEU
Longitud de los tubos (mm)	1.830
Diámetro de los tubos (mm)	19,05
Separación de los tubos (mm)	25,4
Ángulo de los tubos (°)	60
Diámetro entrada/salida lado de los tubos (mm)	25,4 / 25,4
Diámetro entrada/salida lado carcasa (mm)	25,4 / 25,4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla V-4: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el precalentador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal de aceite (kg/h)	1.010
Caudal de alpechín clarificado (kg/h)	162,5
Temperaturas del aceite entrada / salida (° C)	180 / 145
Temperaturas del alpechín entrada / salida (° C)	20 / 140
Carga alpechín / aceite (kW)	23 / 23
Presión de trabajo alpechín / aceite (kPa)	441 / 345
Caída de presión admitida alpechín / aceite (kPa)	10 / 10
Presión de diseño alpechín / aceite (kPa)	520 / 520
Factor de suciedad R	$1,76 \cdot 10^{-4}$
Relación vapor / líquido	0

Fuente: Elaboración propia y SUGIMAT, S.L.

Una vez introducidos los datos térmicos y geométricos, el programa STX dio como resultado los datos de diseño del precalentador que se indican en la tabla V-5.

Tabla V-5: Resultados del diseño del precalentador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de la carcasa (mm)	203
Diámetro del haz (mm)	190
Número de tubos	20 / 26
Pasos por carcasa	45
Área (m ²)	2,3
U de servicio (W/m ² ° C)	162,12
U calculado (W/m ² ° C)	176,8

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos mediante el software programa STX, se realizaron los planos de diseño y se enviaron a la empresa encargada de la fabricación y el montaje del equipo (ELFRAN, S.A.). La figura V-7 refleja la forma del precalentador

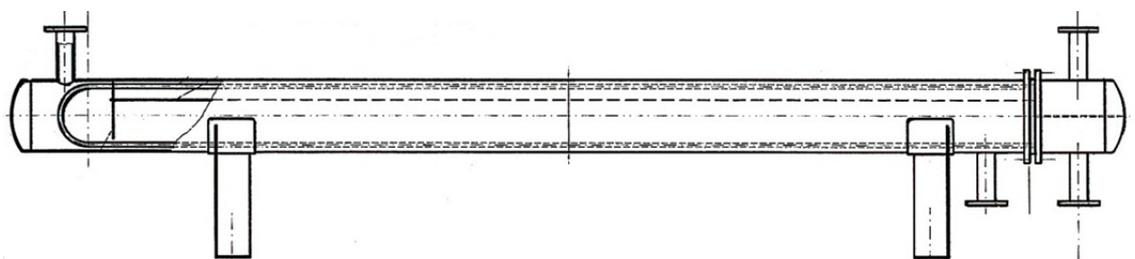


Figura V-7: Precalentador de la planta móvil.

Las características principales del precalentador de alpechín sin sólidos son: 2,3 m² de superficie, tipo BEU, con capacidad para tratar 162,5 L/h, con salto térmico del alpechín de 20 a 140° C y caudal de aceite térmico de 1.010 kg/h con un salto térmico de 180 a 145° C. Los materiales de construcción son las siguientes:

- Carcasa, cabezal, placa tubular y deflectores, AISI 304.
- Tubos de acero A-179 sin soldadura. de 3/4 de pulgada y espesor de 2,286 mm. (BWG 14).
- Tubuladuras AISI 304.
- Bridas fabricadas a partir de aros forjados en material A-105.
- Soportes de acero al carbono, soldados a la carcasa sobre escudos de acero inoxidable.

V.3.3.3.- Cámara de flash.

La entrada de alpechín a la cámara de flash, está regulada por una válvula de fuelle que sólo permite el paso cuando el alpechín alcanza las condiciones de presión y temperatura requeridas (370 kPa y 140° C).

La cámara de flash, (figura V-8), consiste en un recipiente cilíndrico DN 5, de longitud total 1.300 mm, en disposición vertical, y alimentación localizada a 700 mm del techo y 600 mm del fondo, totalmente construido en acero inoxidable AISI 304. Cuerpo cilíndrico de 127 mm de diámetro por 1.150 mm de longitud, con fondos tipo Klöpper y soportes tipo ménsula. Tiene una salida superior a la atmósfera y otra inferior al evaporador. Cuando el alpechín entra en las condiciones de presión y temperatura, al encontrar la cámara a la presión atmosférica, se produce una evaporación súbita que arrastra las sustancias volátiles que aún quedan en el alpechín y acompañadas por una parte de vapor de agua. El alpechín pasa al evaporador a 100° C y presión atmosférica desde la parte inferior de la cámara de flash.

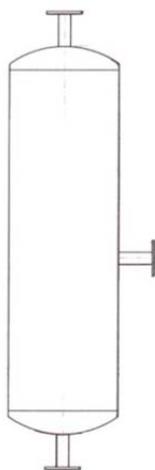


Figura V-8: Cámara de flash de la planta móvil.

V.3.3.4.- Evaporador multitubular.

Se trata de un intercambiador de calor tipo reboiler que permite el intercambio de calor entre el alpechín y el aceite térmico, de manera que se produce la evaporación del agua que contiene el alpechín, retirando el concentrado por la parte inferior del evaporador. Es de tipo BKU que corresponde a las siguientes características.

- B Cabezal del lado de tubos tipo casquete (cubierta integrada).
- K Carcasa tipo rehervidor de caldera.
- U Tubos en U.

Los materiales de los tubos y carcasa que se utilizan son similares a los que se emplean en el precalentador. Para el diseño del evaporador, se utilizaron los datos geométricos y térmicos, que se reflejan en las tablas V-6 y V-7.

Tabla V-6: Datos geométricos básicos para el evaporador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo tubos	BKU
Longitud de los tubos (mm)	1.830
Diámetro de los tubos (mm)	19,05
Separación de los tubos (mm)	25,4
Ángulo de los tubos (°)	60
Diámetro entrada/salida lado de los tubos (mm)	50,8 / 50,8
Diámetro entrada/salida lado carcasa (mm)	50,8 / 50,8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla V-7: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el evaporador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal de aceite (kg/h)	3.340
Caudal de alpechín (kg/h)	150
Temperaturas del aceite entrada / salida (° C)	180 / 145
Temperaturas del alpechín entrada / salida (° C)	100 / 100
Carga alpechín / aceite (kW)	70 / 76
Presión de trabajo alpechín / aceite (kPa)	345 / 108
Caída de presión admitida alpechín / aceite (kPa)	20 / 20
Presión de diseño alpechín / aceite (kPa)	520 / 520
Factor de suciedad R	$1,76 \cdot 10^{-4}$
Relación vapor / líquido	0,8

Fuente: Elaboración propia y SUGIMAT, S.L.

Una vez introducidos los datos térmicos y geométricos, el programa STX da los siguientes datos de diseño del evaporador que se indican en la tabla V-8.

Tabla V-8: Resultados del diseño del evaporador de la planta móvil.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro del cabezal (mm)	378
Diámetro de la carcasa (mm)	711
Diámetro del haz (mm)	375
Número de tubos	124 / 132
Área (m ²)	14,5
U de servicio (W/m ² ° C)	80,15
U calculado (W/m ² ° C)	79,96

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos, se realizaron los planos y, finalmente, se encargó a la empresa ELFRAN, S.A. su construcción. La figura V-9 refleja la forma del evaporador.

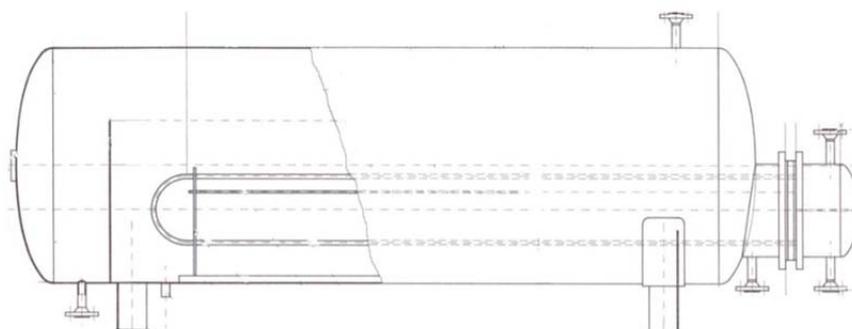


Figura V-9: Evaporador de la planta móvil.

Las características principales del evaporador son: 14,5 m² de superficie, tipo BKU, para tratar 150 kg/h de alpechín. Aporte energético para evaporación a 100° C. Flujo aceite térmico de 3.340 kg/h, salto térmico de 180 a 145° C. Los materiales de construcción son las siguientes:

- Reboiler, cabezal, placa tubo y deflectores, AISI 304.
- Tubos de acero A-179 sin soldadura de 3/4 de pulgada, 2,286 mm espesor (BWG 14).
- Tubuladuras, AISI 304.
- Bridas fabricadas a partir de aros forjados en material A-105.
- Soporte de acero al carbono, soldados al cuerpo sobre escudos de acero inoxidable.

V.3.3.5.- Condensador parcial de alpechín.

La función de este elemento es que una pequeña parte del agua evaporada en el proceso se condense y se puedan recoger muestras para su posterior análisis. Para realizar este propósito se utilizó un condensador en acero inoxidable AISI 304 cilíndrico con serpentín espiral por el que circula alpechín sin sólidos como fluido refrigerante (figura V-10), que se calienta al condensar el agua evaporada, aumentando la temperatura de entrada del alpechín al precalentador. Se requiso, por lo tanto, un nuevo depósito de almacenaje para este alpechín caliente. Se construyó un depósito en acero inoxidable, de forma prismática, con una capacidad de 300 L. El aumento de la temperatura de entrada del alpechín al precalentador no se considera en los cálculos del mismo, ya que se elige para su diseño el caso más desfavorable (alpechín frío).

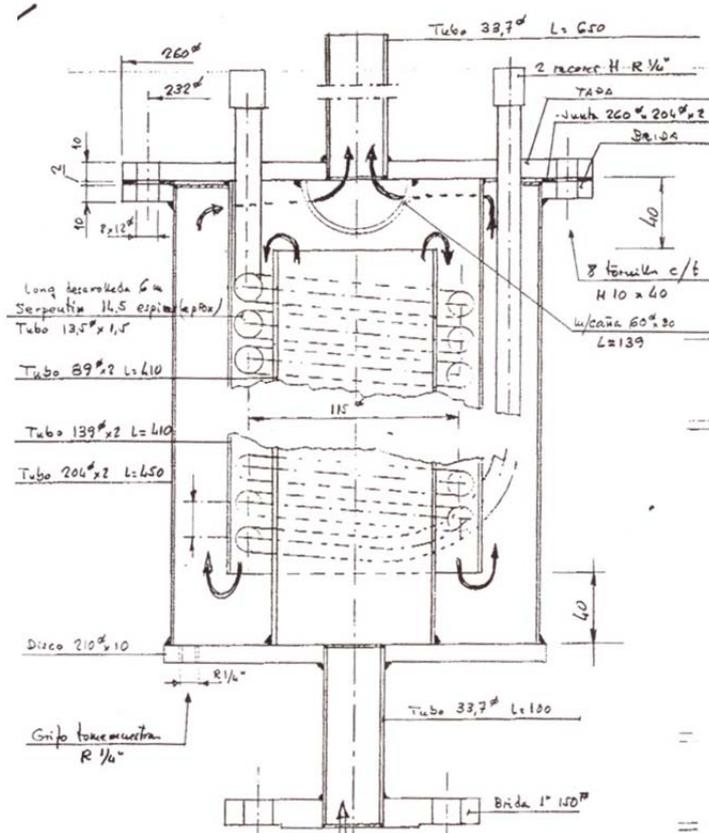


Figura V-10: Condensador parcial.

V.3.3.6.- Equipo de control del sistema de evaporación.

Al existir dos fluidos entre los que se produce la transmisión de calor (alpechín y aceite térmico), cada línea de flujo disponía de elementos que sirven para el control de este sistema.

ALPECHÍN.

- Valvulería convencional (válvulas de aguja) de 1” a la entrada y salida del precalentador y evaporador (para las corrientes líquidas).
- Termómetro y manómetro a la salida del precalentador.
- Termómetro en evaporador.
- Conjunto de regulación de presión. Compuesto por:
 - Sonda PT-100.
 - Transductor de presión.
 - Regulador.
 - Válvula motorizada SKD62 V2 X FF41.39.
 - Cuadro eléctrico de maniobra.

ACEITE TÉRMICO.

- Evaporador.
 - Válvula de fuelle PN-16 DN-32.
 - Válvula manual de tres vías con fuelle PN-16 DN-32.
 - Termómetro
- Precalentador.
 - 2 Válvulas de fuelle PN-16 DN25.
 - Válvula automática de tres vías motorizada PN-16 DN-25.
 - Filtro PN-16 DN-25.
 - Termómetro.
 - Sonda PT-100.
 - Regulador de temperatura Proporcional Integral.

Como se observa, el equipo de control de entrada de aceite térmico al sistema de evaporación se realiza mediante dos válvulas de tres vías, una manual para controlar el evaporador y otra automática motorizada para el precalentador. La válvula manual de entrada de aceite térmico al evaporador permite trabajar por debajo de la capacidad máxima de tratamiento de la planta. La elección de la válvula automática para el precalentador se debe a la dificultad de controlar el proceso de flash mediante una válvula manual.

V.3.4.- EQUIPO MAGNÉTICO DE TRATAMIENTO DEL ALPECHÍN.

La utilización de equipos magnéticos en el tratamiento de aguas de caldera y a nivel doméstico es conocida desde hace años [Ramos 1994] y [González 2008]. Entre sus ventajas cabe destacar:

- Impide la formación de calcificaciones (menor dureza del agua) y hace desaparecer paulatinamente los sedimentos ya existentes, disminuyendo por tanto la corrosión de las tuberías.
- Ahorro de energía en los procesos de calentamiento y evaporación del agua. No requiere ningún aditivo ni energía eléctrica.
- No precisa mantenimiento y es muy fácil de colocar.

En esta planta su función es evitar la formación de calcificaciones, eliminando la dureza temporal del alpechín y evitando su deposición en el proceso de evaporación, sometiendo el alpechín clarificado a un intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales e impiden su deposición en las tuberías. Para ello se instaló el acondicionador anti-calcáreo POLAR PD-15, de las siguientes características:

- Material: Acero inoxidable.
- Diámetro de entrada: ½”.
- Diámetro de salida: ½”.
- Circuito magnético: Coaxial.

V.3.5.- SISTEMA DE DESODORIZACIÓN DEL AGUA POR ADSORCIÓN.

Un tratamiento final del agua condensada con carbón activo granulado asegurará que el vertido cumple con la normativa vigente. Se eligió la empresa AGUAS DE LEVANTE, S.A., por considerar que es la más adecuada para el condensado de alpechín, concretamente se utiliza carbón activo FILTRASORB F-400 por tener superficie interna muy elevada, amplia gama de tamaños de poro, ser reactivable y presentar máxima eficiencia y largo tiempo de vida. Las principales especificaciones y propiedades de este carbón se recogen en la tabla V-9.

Tabla V-9: Especificaciones y propiedades del carbón FILTRASORB F-400.

ESPECIFICACIONES Y PROPIEDADES	
Tipo de Malla, Serie de tamices U.S.	
> 12 malla (1,70 mm) % máximo	5
< 40 malla (425 µm) % máximo	4
Tamaño efectivo (mm)	0,6 – 0,7
Índice de abrasión mínimo	75
Humedad en el empaquete % máximo	2
Área superficial total (m ² /g)	1.100
Densidad del lecho contralavado y drenado (g/L)	425
Densidad de partícula humedecida en agua (g/mL)	1,2
Diámetro medio de partícula (mm)	1,0
Coefficiente de uniformidad	2,0

Fuente: Chemviron Carbon.

Como filtro se eligió el modelo MINIDISPOSORB, cuyas principales características se reflejan en las tablas V-10.

Tabla V-10: Características del filtro MINIDISPOSORB.

Carbón Activo:	
Tipo	FILTRASORB F-400
Peso (kg)	75
Volumen (L)	200
Adsorbedor:	
Diámetro (m)	0,6
Altura (m)	0,92
Materiales	
Cuerpo	Polipropileno
Malla	Acero inoxidable
Tubería	PVC
Diámetro racor de entrada (pulgadas)	3/4
Diámetro racor de salida (pulgadas)	1
Peso final (lleno de carbón húmedo) (kg)	160
Funcionamiento:	
Pretratamiento	Humedecer
Modo de funcionamiento recomendado	Hacia abajo
Flujo máximo (m ³ /h)	2,2
Presión de servicio máxima (bar)	0,5
Temperatura máxima de operación (° C)	40

Fuente: Chemviron Carbon

V.3.6.- GENERADOR DE CORRIENTE Y COMPRESOR.

Para asegurar el funcionamiento de la planta en lugares donde no se disponía de tomas de corriente eléctrica ni aire comprimido, se instalaron los siguientes equipos.

V.3.6.1.- Grupo generador de corriente eléctrica.

Grupo electrógeno con motor diesel de la marca GENELEC, modelo T-15 de las siguientes características:

- Motor: Lamborgini 11LD625-3.
- Arrancador triángulo de estrella.
- Revoluciones por minuto 1.500.

- Frecuencia 50 Hz.
- Potencia nominal 11,2 kW.
- Tensión 380/220 V.
- Cilindrada 1.870 cm³.

V.3.6.2.- Grupo compresor.

Para el funcionamiento de las bombas neumáticas es necesario instalar un compresor con su correspondiente depósito de acumulación de aire comprimido. Se eligió un grupo compresor de pistones marca MARK Modelo BH-30055FT de las siguientes características:

- Potencia 4 kW.
- Tensión 380 V.
- Frecuencia 50 Hz.
- Presión máxima 10 bar.
- Caudal máximo 32,6 m³/h.
- Capacidad del depósito: 300 L.

V.4.- INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

En este apartado se describen los procesos de instalación y puesta en marcha de la planta piloto móvil de tratamiento de alpechines y de cada uno de los sistemas y equipos que la constituyen, así como los inconvenientes y las soluciones propuestas que se presentaron en el arranque de la misma, tanto desde el punto de vista de puesta en marcha individual como colectivo.

V.4.1.- CALDERA DE ACEITE TÉRMICO.

La instalación en el camión tráiler y la puesta en marcha de la caldera de aceite térmico la realizó la empresa SUGIMAT, S.L. en sus instalaciones de fabricación de equipos (Quart de Poblet, Valencia).

V.4.2.- EQUIPO DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

El montaje e instalación del sistema de separación acelerada de sólidos en el camión tráiler se realizó en las dependencias de la empresa suministradora TEFSA (Esplugues de Llobregat, Barcelona), realizando la posterior puesta en marcha de este sistema en Valladolid. Para ello se

utilizó alpechín traído desde una almazara de la localidad de Baena (Córdoba). Las conclusiones obtenidas después de los ensayos realizados, son las siguientes.

PREPARACIÓN DE FLOCULANTE.

Para obtener una adecuada preparación de la disolución de floculante es necesario que el nivel de agua en el depósito alcance la altura del agitador antes de añadir el floculante sólido.

MEZCLA ALPECHÍN - FLOCULANTE.

La mezcla entre el alpechín y el floculante en el depósito de floculación no es la adecuada, y el trasiego del alpechín floculado al decantador mediante la bomba neumática puede romper los flóculos en formación por lo que se decidió modificar el esquema de funcionamiento:

- Se instaló un mezclador cónico para favorecer dicha mezcla. El floculante se mezcla con el alpechín en la tubería de entrada al mezclador cónico, mediante su inyección tangencial en un estrechamiento de la tubería, para asegurar el régimen turbulento del fluido y así garantizar que su mezclado sea completo y homogéneo, entrando por 4 puntos opuestos diametralmente dos a dos. La corriente alpechín - floculante entra por la base del mezclador cónico de forma tangencial para favorecer su mezcla. La salida se efectúa por la parte superior del mezclador pasando al nuevo tanque de floculación.
- Se instaló un nuevo tanque de floculación más pequeño situado encima del decantador, compuesto por dos depósitos cilíndricos concéntricos, uno dentro del otro, de tal forma que en el más pequeño se instaló el agitador, pasando el alpechín floculado al otro depósito por rebose, cayendo por gravedad al decantador (para evitar que la bomba neumática rompiera los flóculos formados).
- Para favorecer la mezcla alpechín - floculante se llevaron entradas de aire comprimido al mezclador cónico y al nuevo decantador, consiguiendo como efecto secundario que aumentará el porcentaje de sólidos que flotan debido al transporte neumático de los mismos y al aire que queda ocluido en los flóculos.
- Se instaló una nueva salida a media altura en el decantador, ya que era la zona donde se encontraba el alpechín más exento de sólidos suspendidos (en la parte inferior estarán los sólidos que decantan y en la parte superior los sólidos que flotan).

Con estas medidas correctoras se consiguió que la separación de los sólidos del alpechín fuese la adecuada para poder proceder a la etapa de evaporación del alpechín clarificado.

TRATAMIENTO DE FANGOS.

La adición de lechada de cal y disolución de cloruro férrico no favorecía el proceso de filtración de los sólidos de alpechín obtenidos en el decantador, sino lo contrario, ya que los sólidos se rompían en otros más pequeños mucho más difíciles de filtrar. Para solucionar este problema, se quitaron los dos mezcladores en línea descritos en el apartado V.3.2 y se procedió a efectuar la filtración directamente con los fangos obtenidos del decantador.

V.4.3.- SISTEMA DE EVAPORACIÓN.

El montaje del sistema de evaporación en la plataforma del camión tráiler se realizó en las instalaciones de la empresa suministradora ELFRAN, S.A. (Pinto, Madrid) y su puesta en marcha se realizó en Valladolid.

Las conclusiones que se obtuvieron del trabajo realizado fueron:

PRECALENTADOR.

Para conseguir alcanzar las condiciones de presión y temperatura (370 kPa y 140° C) necesarias para que la válvula de la cámara de flash se abra, fue necesario introducir una modificación en este equipo. Se necesitó un sistema de recirculación con una bomba neumática adecuada a la temperatura de trabajo que hiciese que el alpechín, si no ha alcanzado las condiciones especificadas, volviese a entrar en el precalentador hasta alcanzar los valores necesarios para que se produjese la evaporación súbita.

Existe otra posibilidad para que se produzca el proceso de flash: Actuar sobre la válvula de regulación del proceso de flash de forma manual, bajando el set point que regula la válvula hasta un valor que permita la entrada del alpechín al evaporador, si bien en este caso la fase gaseosa separada en el proceso era menor.

EVAPORADOR.

El sistema manual de control de entrada de aceite térmico al evaporador no era el adecuado si se quería variar de forma controlada la capacidad de evaporación del equipo.

CONDENSADOR PARCIAL.

Con el fin de disminuir la temperatura de salida del agua condensada de este equipo, se instaló un serpentín de cobre en el depósito de alpechín sin sólidos por el que se hacía circular el condensado antes de pasar a la fase de desodorización.

V.4.4.- RESTO DE EQUIPOS.

La instalación y puesta en marcha del equipo de tratamiento magnético, del sistema de desodorización por adsorción, del grupo generador de corriente eléctrica y del grupo compresor se realizó en Valladolid sin presentar ninguna dificultad reseñable.

Para completar el apartado de instalación, a continuación se describe brevemente las instalaciones necesarias para el funcionamiento de la planta: eléctrica y neumática.

Por último, dada la importancia de la etapa de separación acelerada de sólidos para el proceso global de la planta, se intentó su automatización utilizando un medidor de corriente de flujo (potencial Z).

V.4.4.1.- Instalación eléctrica.

Se realizó la instalación eléctrica a partir de un cuadro general que podía ser alimentado de dos formas posibles:

- Grupo generador de la planta.
- Conexión exterior.

Dado que la parte de separación acelerada de sólidos tiene mayor posibilidad de que pueda haber problemas con la instalación eléctrica (pueden entrar en contacto el alpechín con los cables y motores de los agitadores), se decidió realizar dos líneas de corriente:

- Línea para la caldera de aceite térmico. Con el fin de evitar el deterioro del aceite térmico en caso de que se interrumpa la corriente eléctrica por problemas en la parte química, cuando esté el aceite térmico a temperatura elevada. Con esta medida se consigue que la bomba de circulación de aceite térmico continúe funcionando y de este modo evite que se deteriore, ya que se recomienda no apagar dicha bomba hasta que la temperatura del aceite no descienda hasta 100° C.
- Línea para el resto de la planta (parte química, compresor, iluminación y tomas de corriente).

Los principales elementos que constituyen el cuadro eléctrico son:

- Armario CR4/3/140.
- Base cetac III + T+N.
- Conmutador de 3 posiciones 32 A.
- Diferencial IV: 40 A y 300 mA.

- Magnetotérmico IV: 32 A.
- Magnetotérmico III: 20 A.
- Magnetotérmico IV: 25 A.
- Diferencial II: 25 A y 30 mA.
- Magnetotérmico II: 10 A.

El sistema de alumbrado consta de 4 plafones de bajo consumo (2 x 9 W) con interruptor estanco. Se instalaron 2 tomas de corriente para la conexión de equipos de laboratorio, tales como el floculador, balanzas, etc.

V.4.4.2.- Instalación neumática.

La instalación neumática se llevó a cabo en las dependencias de la empresa TEFSA, proveedora de los equipos que forman el sistema de separación acelerada de sólidos. Se realizó en tubería de cobre de ½" hasta las válvulas de regulación de caudal de las bombas neumáticas. La conexión entre la línea de aire comprimido y la válvula de caudal y entre esta y la bomba neumática se realiza en tubería de poliamida de 8 x 6 o 6 x 4 mm dependiendo del tamaño de la bomba.

A la salida del compresor se instaló un filtro purgador y a continuación una unidad de mantenimiento con regulador de presión y lubricador. Como agente de lubricación se usa etilenglicol.

Antes de cada bomba neumática se instaló una válvula de bola y un regulador de caudal para controlar el flujo de la misma.

V.4.4.3.- Medidor del potencial Z.

Para establecer la dosificación óptima de reactivos necesaria para conseguir un proceso de coagulación - floculación adecuado, se instaló en la plataforma del camión tráiler un monitor de corriente de flujo, instrumento que se utiliza para la medición en continuo de la carga eléctrica (potencial Z) en una muestra de agua, después de que en ésta se hayan dosificado coagulantes y/o floculantes para la desestabilización de los coloides suspendidos. El monitor de corriente indica el valor de carga que corresponde a la dosis óptima de polielectrolito a utilizar. El equipo (CHEMTRAC 2000 XR con sensor DURA-TRAC) consta de dos partes como se puede observar en la figura V-11:



Figura V-11: Medidor de potencial Z.

- Sensor. Con las siguientes especificaciones:
 - Flujo de muestra en estudio: 17 L/min.
 - Orificio de salida mayor al de entrada para evitar la presurización de la célula.
 - Tiempo de respuesta no mayor a 2 s.
 - Célula de autolimpieza no siendo necesarios otros elementos adicionales.
 - Electrodo de acero inoxidable, localizados en la parte superior e inferior del módulo sensor, que transmiten la señal a través de un cable coaxial al monitor.
 - Alimentación: 230 V, 50 Hz.
 - Materiales en contacto con la muestra: Delrin, Nylon, Neopreno, Vitón, PVC, Acero inoxidable.
 - Carcasa (protección): Nema 4X, Policarbonato.
- Monitor:
 - Alimentación: 230 VAC, 50 Hz.
 - Lectura: Digital LED (- 10.00 a + 10.00).
 - Señal de salida: 4-20 mA (600 Ω Ohm máximo).
 - Alarmas de alta y baja:
 - ✓ 5 A, 110/250 VAC.
 - ✓ Relés con contacto libres de potencial.
 - Tipo de carcasa:
 - ✓ Montaje en panel: NEMA I, ABS.
 - ✓ Montaje en pared: NEMA 4X, Policarbonato.
 - Dimensiones (ancho x alto x fondo):
 - ✓ Montaje en panel: 190 mm x 140 mm x 160 mm.
 - ✓ Montaje en pared: 220 mm x 280 mm x 140 mm.

El potencial Z da idea de las fuerzas de repulsión entre partículas coloidales y de la estabilidad de la dispersión coloidal [Longsdon 2002] y [Aguilar 2002]. La curva que representa la

evolución del potencial Z en función de la dosis de coagulante – floculante añadido, varía según el residuo estudiado. La bondad de la medida se ve afectada por las interferencias que alteran a los coloides en disolución acusa (turbidez, temperatura y conductividad). Para conseguir la eliminación de las partículas coloidales de un residuo acuoso se ha de reducir el valor del potencial Z del mismo respecto a su valor inicial. A medida que disminuye el potencial Z, las partículas pueden aproximarse cada vez más aumentando la posibilidad de una colisión. Si se añade demasiado coagulante, la superficie de la partícula se cargará positivamente (potencial Z positivo), y las partículas volverán a dispersarse.

Para efectuar la medida en la planta del camión, se introdujo un by-pass para hacer pasar parte de la mezcla que sale del mezclador cónico por el medidor de potencial Z. El problema que puede presentar la medición del potencial Z en el alpechín es que posee un alto valor tanto de la turbidez como de la conductividad, que son dos de las principales interferencias que alteran la medida. Después de varios experimentos se comprobó que no se podía sacar ninguna conclusión respecto al valor medido en función de la cantidad de floculante añadido. Los valores iniciales del potencial Z del alpechín estaban comprendidos entre -22 mV y -25 mV y para los valores finales no se consiguió que disminuyeran de -18 mV, independientemente de la cantidad de floculante que se añadiera. No se pudo establecer una curva de neutralización de potencial Z y poder de este modo controlar la dosificación de floculante de manera automática. La manera de controlar el proceso de separación acelerada de sólidos es manual, aumentando o disminuyendo el caudal de aire a la bomba de dosificación de floculante en función del aspecto (visual) que presenta la mezcla alpechín - floculante.

V.5.- BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA TÉRMICA.

Dado que la planta móvil no pretende demostrar la viabilidad económica del proceso, sino que lo que se intenta demostrar es que técnicamente es viable, en este apartado se analizan los balances de materia y de energía térmica, sin entrar a realizar el estudio económico del proceso.

Teniendo en cuenta que la composición del alpechín es muy variable y que su comportamiento frente a la etapa de separación acelerada de sólidos no es siempre la misma, resulta muy difícil establecer un único balance de materia y energía para el proceso. Es necesario establecer una serie de valores iniciales para poder realizar esta tarea, teniendo en cuenta que dependiendo del tipo de alpechín (fundamentalmente si proviene de un proceso tradicional de prensas), los flujos másicos y por consiguiente también los datos de la transferencia de calor pueden no corresponder con los datos que se obtienen a partir de las siguientes consideraciones:

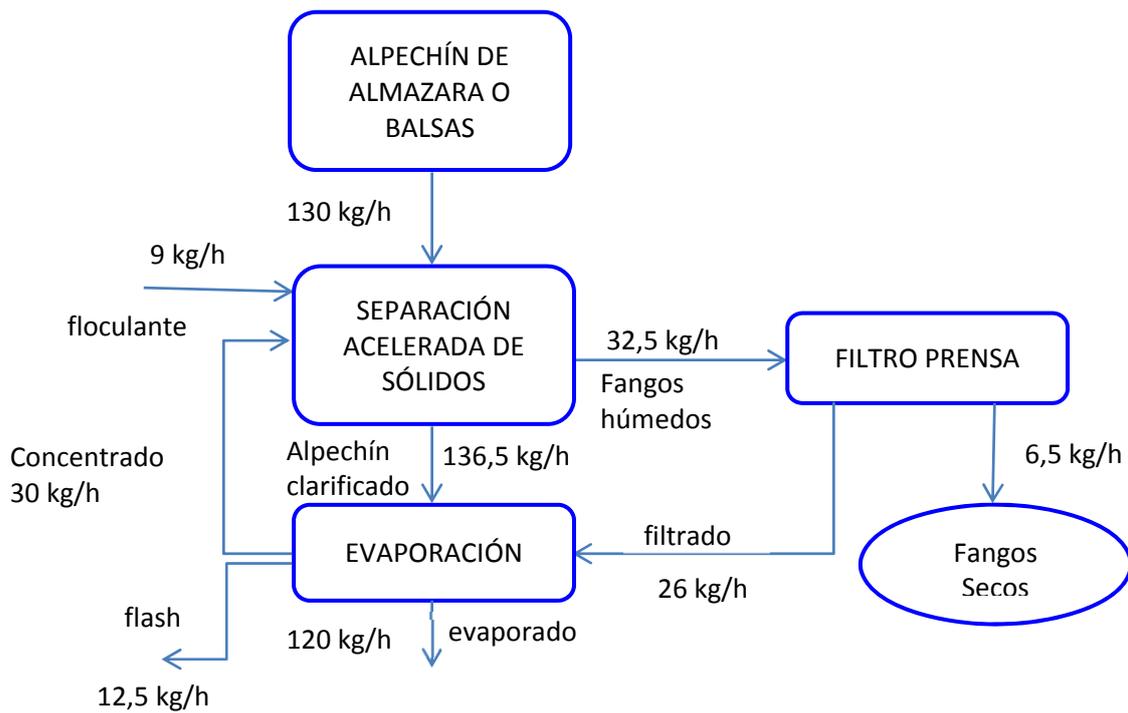


Figura V-12: Balance de materia tipo para la planta móvil.

- Recuperación de sólidos del alpechín 2,5%.
- Humedad de la torta filtrada 50%.
- Consumo de floculante 35 g/m³ de alpechín.
- Concentración de la disolución de floculante 500 ppm.

El balance de materia correspondiente a estas estimaciones se refleja en la figura V-12. No se recoge en el mismo el flujo de entrada al proceso de desodorización ya que no siempre se realiza esta operación (recogida de muestras para análisis).

Para realizar el balance de energía térmica, es necesario poner un valor medio de la temperatura de entrada del alpechín al precalentador, teniendo en cuenta que una parte pasa por el condensador parcial. Para los cálculos, se considera el caso más desfavorable, con una temperatura de entrada de 20° C (alpechín frío).

Los resultados del consumo energético, tomando como valor medio del calor específico del alpechín 4,182 kJ/kg K y 2.260 kJ/kg el calor latente de vaporización, son los siguientes:

Pre calentador:

$$\dot{m} = 162,5 \text{ kg/h}$$

$$\Delta H = \dot{m}c_p\Delta T = 162,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{4,182\text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 120\text{K} = 81.549 \text{ kJ/h}$$

Evaporador:

$$\dot{m} = 150 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0,8$$

$$\Delta H = \dot{m}\Delta H_{EVAP} = 120 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2.260 \text{ kJ/kg} = 271.200 \text{ kJ/h}$$

La suma de los dos da un valor de 352.749 kJ/h, que supone un 84% de la potencia de la caldera.

Todos los ensayos realizados, junto con las modificaciones que han surgido en el montaje y puesta en marcha de la planta móvil, tendrán una aplicación inmediata en el siguiente capítulo, en el que se estudia el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta industrial de demostración para el tratamiento integral de alpechines, capaz de tratar los residuos generados por una almazara que moltura 50.000 kg/día.

**VI.- PLANTA INDUSTRIAL DE
DEMOSTRACIÓN PARA LA DEPURACIÓN
INTEGRAL DEL ALPECHÍN.**

VI.1.- INTRODUCCIÓN.

Como consecuencia de los notables resultados obtenidos en la planta móvil de depuración, se procede al diseño, construcción e instalación de una **Planta industrial de demostración para la depuración integral del alpechín**, para el tratamiento del efluente líquido del proceso de producción de aceite de oliva virgen.

El proyecto fue solicitado por la cooperativa Comunal Sotoserrano, Sociedad Cooperativa situada en Sotoserrano (SALAMANCA), a la empresa TRAINALBA, S.L. y la Fundación CARTIF. Cabe destacar que para la ejecución del proyecto se obtuvieron dos subvenciones, una del Ministerio de Medioambiente dentro del programa PITMA 722D (Programa Industrial y Tecnológico Medioambiental - 1.993) de 91.017,27 € y otra de la Junta de Castilla y León de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del 28,5% (117.622,64 €) cuyo cartel informativo se refleja en la figura VI-1.



Figura VI-1: Cartel informativo de la subvención de la Junta de Castilla y León.

VI.1.1.- EMPLAZAMIENTO Y SUPERFICIE.

La finca donde se realizó la instalación de la planta depuradora pertenece a dicha Cooperativa, encontrándose anexa a la almazara, en la Carretera de Coria s/n, Sotoserrano (Salamanca) (plano nº 1 del Anexo 1).

Posee esta finca una forma rectangular de 500 m² de superficie, donde se realizarán las obras de instalación de la planta, que ocupa una superficie de 283 m², de ellos 87 m² bajo cubierta.

Dado el desnivel del terreno en el que se instaló la planta de depuración se procedió en primer lugar a la excavación y formación de la plataforma de la planta que recibirá al conjunto. Se trata de una

plataforma a dos alturas, de 264,66 m² de superficie (20,05 m x 13,20 m) estando en la inferior las placas de anclaje para la cubierta, así como una doble capa de emparrillado en la zona que soportará la caldera. Toda ella estará rodeada por un muro de contención. Se contemplan también las operaciones precisas de drenaje y limpieza del solar.

Se cubrió una parte de la planta con una estructura de cubierta, formada por pórticos bi-empotrados a dos aguas de acero A-42b, correas metálicas y material de cubrición en chapa galvanizada con una línea traslúcida (plano 2 del Anexo 1).

VI.2.- ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA INDUSTRIAL DE DEMOSTRACIÓN.

El objetivo de la planta industrial de demostración es depurar los alpechines que se producen en dicha almazara y el aprovechamiento de los subproductos originados. Tiene una capacidad de tratamiento de 69.156 kg/d de alpechín, que corresponde a una molturación de 50 t/d de aceituna. Se estima una media de sesenta días de campaña de recogida de aceituna. El proceso de operación de la planta diseñada consta de las siguientes etapas.

SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

Mediante reactivos específicos, decididos como adecuados en las pruebas de laboratorio y planta piloto, se facilita la separación de los sólidos que contiene el alpechín en suspensión. El precipitado originado en esta etapa es aislado del resto de la disolución mediante su decantación, y posteriormente tratados en un proceso de secado mecánico para reducir su humedad y recuperar parte del aceite arrastrado por el alpechín.

REDUCCIÓN DE LA DUREZA TEMPORAL DEL ALPECHÍN.

La reducción de la dureza temporal del alpechín se llevó a cabo haciéndolo circular dentro de un intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales cálcicas e impiden su deposición en las tuberías y elementos por donde circula. El carbonato de calcio permanece en suspensión y se evacua en el concentrado de la etapa de evaporación.

EVAPORACIÓN.

La disolución formada por agua con materia orgánica soluble, procedente de la etapa de separación de la materia sólida en suspensión del alpechín, y responsable del color, se somete a evaporación en un evaporador que opera en continuo. La evaporación a vacío no será necesaria ya que se han eliminado los sólidos en suspensión, responsables de la necesidad de trabajar a vacío debido al aumento en la temperatura de ebullición en el evaporador.

Parte del calor latente de condensación del vapor se recupera mediante dos intercambiadores de placas consiguiendo satisfacer las necesidades energéticas de la almazara (calentar el agua del proceso de obtención de aceite de oliva virgen y dar calefacción a la almazara) y precalentar el alpechín.

Mediante un proceso de evaporación con flash, en una etapa previa, se eliminan la mayoría de los volátiles orgánicos del alpechín. La operación en continuo permitirá retirar la disolución concentrada que se forma en el evaporador, que se utilizará como materia prima para la fabricación de abonos líquidos destinados al olivar u otros cultivos.

TRATAMIENTO DE FANGOS.

Los sólidos separados en la etapa de floculación (fango de alpechín) se someten a un proceso de secado mecánico en un decánter de tres fases, donde se recupera parte del aceite ocluido en el fango de alpechín. Una vez deshidratados se utilizan, junto con el orujo de tres fases, como fuente calorífica, aportando la energía que se precisa en el proceso de depuración del alpechín mediante su combustión, y cuyas cenizas pueden ser también recicladas al olivar para recuperar los oligoelementos y demás sustancias minerales necesarias para el crecimiento del árbol. Existen otras posibilidades de aprovechamiento, ya que pueden ser sometidos a una adecuación para otras aplicaciones (piensos, compost, etc...).

VI.3.- DISEÑO DE LA PLANTA.

Las diferencias esenciales en el diseño, aparte de la capacidad de tratamiento, que presenta la planta situada en Sotoserrano respecto de la planta móvil se refieren fundamentalmente a tres apartados:

- Combustible utilizado en la caldera.
- Tratamiento de los sólidos decantados.
- Recuperación de aceite del alpechín.

El diagrama de bloques correspondiente se refleja en la figura VI-2.

La planta propuesta consta de los siguientes sistemas y equipos:

- Sistema térmico.
- Sistema de separación de sólidos.
- Sistema de evaporación de alpechín con cámara de flash previa.
- Equipo magnético de ablandamiento de aguas.
- Equipo compresor de aire.

- Sistema de regulación.
- Sistema de secado mecánico.
- Instalación eléctrica y neumática.

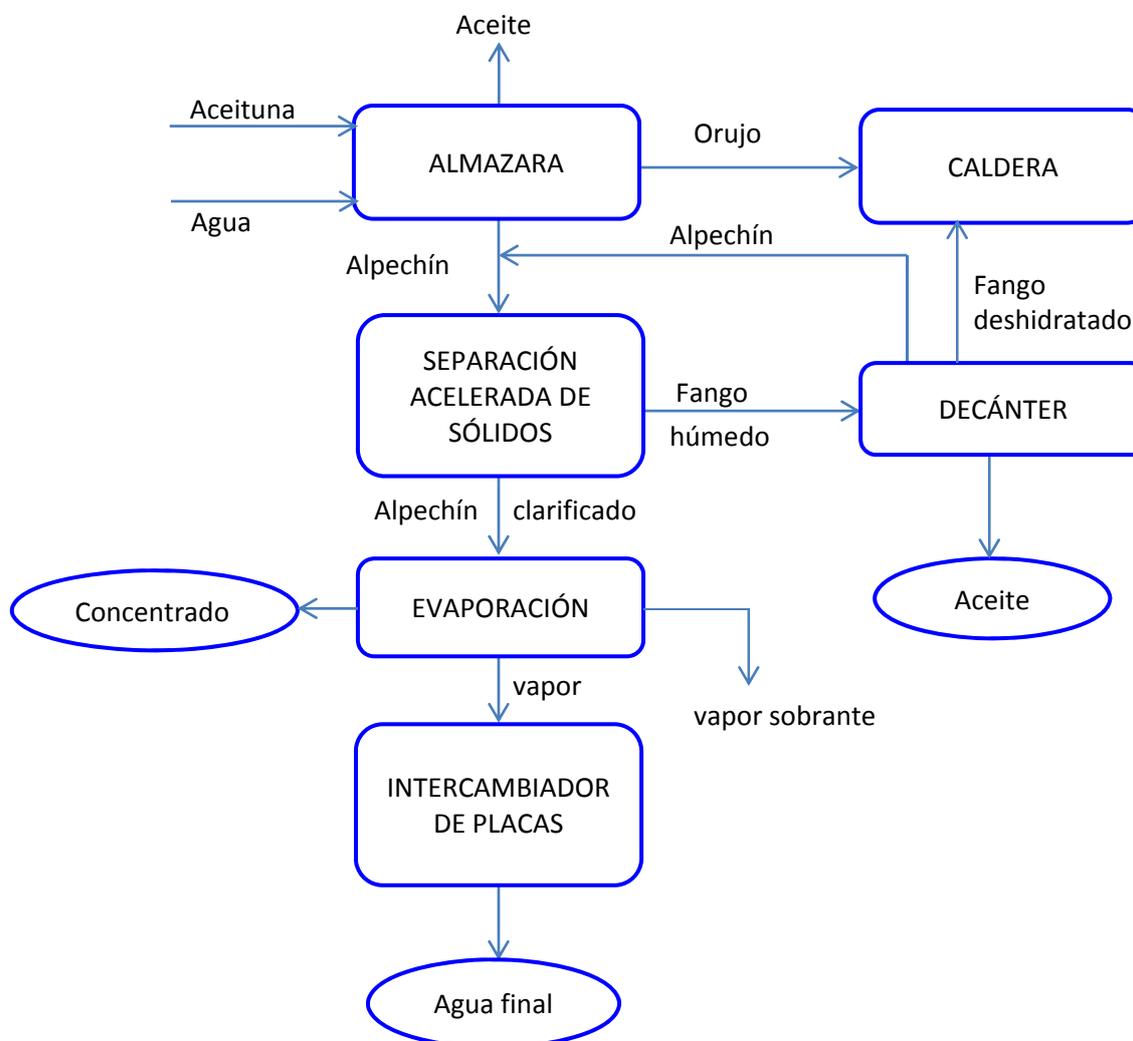


Figura VI-2: Diagrama de bloques del proceso de la planta industrial de demostración.

VI.3.1.- SISTEMA TÉRMICO.

Se ubica en la zona bajo cubierta de la planta. Por los mismos motivos que se esgrimieron en el capítulo V, se elige una caldera de aceite térmico. Se solicitaron presupuestos a varias empresas para una caldera de biomasa, con el apoyo de un quemador de gasoil para su arranque y también asegurar la temperatura adecuada para la combustión del orujo en el hogar, de 2.500.000 kcal/h. Nuevamente se seleccionó la tecnología de la empresa SUGIMAT, S.L. para llevar a cabo la fabricación, montaje y puesta en marcha del sistema térmico de la instalación. El plano 3 del

Anexo 1 recoge las dimensiones y la distribución de las partes que forman este sistema. Las características de los elementos que constituyen este sistema térmico son las siguientes:

CALDERA.

Posición vertical con dos serpentines como cuerpo intercambiador. (Normas constructivas UNE 9-310-76, VDI-30333, DIN-4754). Dotada con dos puertas, una de ellas con el quemador de gasóleo C (para el arranque del equipo y asegurar temperatura de operación en el caso de que sea necesario) y la otra provista de mirilla. Las especificaciones de la caldera son las siguientes:

- Caldera de aceite térmico como medio caloportador.
- Potencia nominal de 2.500.000 kcal/h (2.907,5 kW).
- Temperatura máxima del flujo utilizando un caloportador adecuado: 300° C.
- Diferencia máxima de temperatura entre cara exterior y ambiente: 20° C.
- Ejecución vertical.
- Presión/prueba en origen sobre tubería: 80 kg/cm².
- Presión/prueba sobre paquete: 7,5 kg/cm².
- Presión de timbre (industria): 5 kg/cm².
- Presión prueba caldera: 7,5 kg/cm².
- Calidad tubería: Espesores superiores complementarios. ST.38.8.1 DIN-17175.
- Aislamiento de lana de roca, espesor 100 mm.
- Normas constructivas: UNE 9-310-76. VDI-30333. DIN-4754.
- Rendimiento: 70-72%.
- Colectores ida/retorno: DN-150.
- Hogar para la combustión de orujo, procedente del proceso de fabricación.
- Temperatura de trabajo 220° C.

HOGAR DE COMBUSTIÓN.

Revestido interiormente con material refractario tanto en base como en paredes laterales. Su parte exterior se construyó en ladrillo aislante, perlita y chapa exterior de protección. Dispone de un juego de parrillas móviles, dos filas laterales, en fundición especial al cromo para soportar las extremas condiciones de trabajo. La entrada del aire primario se sitúa debajo de éstas para poder quemar el combustible del lecho y contribuir a la refrigeración de las parrillas, estando la entrada del aire secundario por encima del lecho de combustible, en la zona de destilación, con objeto de aprovechar al máximo el poder calorífico del combustible al permitir la combustión de los volátiles y del CO que se genera en el lecho con la combustión incompleta del combustible que se encuentra sobre la parrilla.

ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.

Sistema compuesto por los siguientes elementos.

- Convertidor de frecuencia 5,5/7,5 kW, 2/18,0 A 380, 400, 415 V, IP21 ACS501-009-3-00P200000.
- Tolva pequeña en chapa F-112 de 100 L de capacidad.
- Tolva grande en chapa F-112 de 4.000 L de capacidad (plano 4 del Anexo 1).
- Tornillo sinfín dosificador de acero al carbono de 1,5 m de longitud, paso de 150x150, con tubo eje de acero estirado de 4 mm de espesor. Caja en forma de canal de chapa de acero al carbono de 4mm de espesor, tapas del mismo material de 1,5 mm. Manguetas de acero F-1.140, rodamientos de bolas en ambos extremos y motorreductor de 1 C.V. acoplado en punta.
- Tornillo sinfín dosificador de acero al carbono de 12,6 m de longitud para alimentación del orujo a la caldera.
- Tapa - brida motor ABB MBT - 132SA
- Reductor FRC 210 B3 1:8,7 IEC132
- Tornillo sinfín automático para introducir el orujo a la caldera, que incluye:
 - Base soporte del conjunto sinfín-motorreductor.
 - Tolvín de entrada.
 - Sinfín.
 - Crisol de fundición.
 - Grupo motorreductor de accionamiento.
 - Acoplamiento elástico entre motorreductor y sinfín.

En el hogar se instaló un quemador de gasóleo-C que servirá para el arranque y que también garantice, cuando sea necesario, la temperatura adecuada en cámara para obtener la correcta combustión del orujo.

CUADRO ELÉCTRICO.

Recoge los elementos de medición y control, indicadores de seguridad, indicadores de funcionamiento y elementos complementarios y alarmas.

- Elementos de medición y control:
 - Termómetro / Termostato para regular la temperatura de salida del aceite, que actúa sobre un avisador óptico en 1ª fase, y sobre seguridades en 2ª fase.

- Indicadores de seguridad:
 - Nivel del depósito de expansión.
 - Control de la circulación en la caldera.
 - Apertura de clapeta de tiro para emergencia.
 - Máxima temperatura de aceite.
 - Máxima temperatura de humos.

- Indicadores de funcionamiento:
 - Bomba de circulación.
 - Bomba de llenado.
 - Ventilador de tiro.
 - Ventilador primario.

- Elementos complementarios:
 - Interruptor general.
 - Limitador de corte de corriente de rearme manual.
 - Arrancadores, interruptores, pilotos, relés, fusibles, etc.
 - Alarma acústica.
 - Alarma óptica.

VENTILADOR TIRO.

- Tipo centrífugo.
- Transmisión por correas trapezoidales y poleas.
- Temperatura máxima de trabajo: 400° C.

El ventilador es de tiro forzado, se construyó en chapa resistente a altas temperaturas y equipado con rodete equilibrado, estática y dinámicamente. Consta de eje con cajas de rodamiento, disipador de calor sobre rodamiento cercano a envolvente, soporte solidario para motor provisto de carriles tensores y registro de limpieza e inspección ubicado sobre envolvente.

VENTILADOR AIRE PRIMARIO Y SECUNDARIO.

Ventilador centrífugo construido en chapa normal, equipado con rodete múltiple de alto rendimiento y transmisión por correas trapezoidales y poleas.

GRUPO MOTOBOMBA.

- Tipo Centrífugo.
- Presión 540 kPa
- Tipo de motor: trifásico, rotor en cortocircuito.
- Protección IP 54
- Transmisión de motor directo mediante acoplamiento elástico.
- Materiales:
 - Carcasa: GGG 50.
 - Impulsor: GG 25.
 - Eje: X20 cr 13.
 - Cierre del eje: Vitón.

El grupo motobomba va montado sobre bancada rígida. La bomba es en ejecución especial, para impulsar aceite térmico a elevadas temperaturas, sin necesidad de refrigeración. Está construido con carcasa en espiral de una etapa y sus dimensiones y rendimiento están de acuerdo a las normas DIN 24255 y DIN 4754.

DEPÓSITO CENTRAL.

De una capacidad de 9.000 L recoge el aceite térmico de la instalación. Su construcción permite evitar la oxidación del fluido térmico. Va equipado con bomba de llenado y vaciado, así como juego de válvulas para realizar estas funciones.

- Dimensiones:
 - Altura: 1.950 mm.
 - Longitud: 3.760 mm.
 - Diámetro: 1.800 mm.

DEPÓSITO DE EXPANSIÓN.

De 3.000 L de capacidad está destinado a absorber las dilataciones producidas por el fluido térmico de la instalación. Equipado con boya de nivel, purga de aire, tubuladuras de expansión, control y rebose.

- Dimensiones:
 - Altura: 1.450 mm.
 - Longitud: 2.550 mm.
 - Diámetro: 1.300 mm.

CHIMENEA.

Construcción totalmente metálica, dotada de base inferior de anclaje con trampilla de limpieza. Arriostramiento mediante cables y tensores galvanizados.

- Dimensiones:
 - Altura: 16.500 mm.
 - Diámetro: 800 mm.

CONDUCTOS DE GASES.

Construidos totalmente en chapa de acero al carbono, tienen como misión realizar las siguientes conexiones:

- Salida caldera / Multiciclón.
- Salida multiciclón / Ventilador de tiro.
- Salida ventilador de tiro / Chimenea.
- Salida multiciclón / Horno.
- Salida de emergencia del Horno / Chimenea.

RECUPERADOR/DEPURADOR MULTICICLÓN.

El equipo está formado por varias unidades ciclónicas (multiciclón), cada una de las cuales está compuesta por cuerpo superior cilíndrico de impacto y cuerpo inferior cónico de recepción, dotándose al cuerpo superior cilíndrico de salida de gases tratados. Las entradas y salidas de gases y cenizas, estarán conectadas a entradas y salidas únicas.

El multiciclón estará formado a su vez por tres cuerpos diferenciados, entrada y salida de gases, cuerpo separador y tolva común con cesta de recogida de partículas de inquemados.

DEPÓSITO ALMACÉN DE AGUA.

Fabricado en poliéster, de 300 L de volumen, para su empleo en casos de emergencia por aumento de la temperatura en el hogar de combustión.

VALVULERÍA CENTRAL.

Está formada por las válvulas y filtros necesarios para aislar la bomba y/o la caldera de la línea general, parte de las cuales se observan en la figura VI-3, así como para la regulación y mantenimiento de la instalación. Está compuesta por los siguientes elementos:

- Tres válvulas de fuelle con cuerpo de fundición esferoidal, diseñadas para trabajar con aceite térmico. Presión nominal PN16, y norma DIN3300.

- Dos válvulas de interrupción para vaciados, con cuerpo de fundición gris GG-25 y guarniciones de acero inoxidable. PN16.
- Una válvula de fuelle para by-pass, parte inferior de inoxidable y cuerpo de fundición esferoidal. PN16 y DIN-3300.

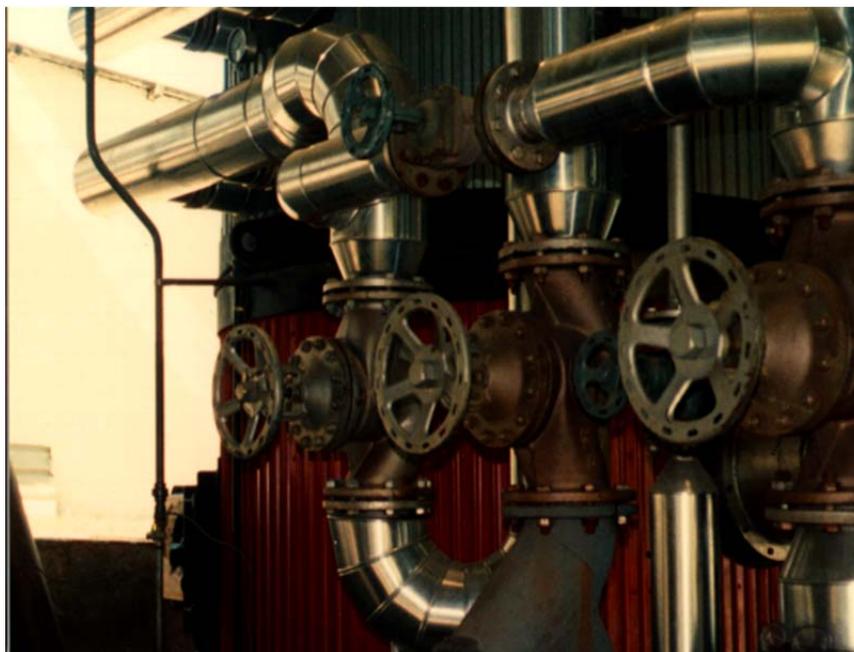


Figura VI-3: Valvulería central de la caldera.

- Un filtro con tamiz de acero inoxidable situado en la aspiración de la bomba. PN16.
- Una válvula de fuelle para doble expansión, parte interior de acero inoxidable y cuerpo de fundición: PN16 y DIN3300.

LÍNEAS.

Se incluyen en este apartado, la tubería recta, codos, inserciones, purgas, juntas, soportes, reducciones, etc., precisos para transportar el fluido térmico y realizar las siguientes conexiones dentro de la sala de calderas:

- Colector salida caldera/Aspiración bomba.
- Impulsión de bomba/Red de consumidores.
- Red de consumidores/Colector entrada caldera.
- Línea de aspiración de la bomba/Deposito de expansión.
- Depósito de expansión/Depósito central.
- Red de vaciado.

La tubería es de acero estirado sin soldaduras.

INSTRUMENTACIÓN.

Se colocan externos al cuadro, pero actuando sobre las señales y cuadros de seguridad los siguientes elementos:

- Un termostato de seguridad ubicado en el colector general de salida.
- Un presostato diferencial y dos manómetros montados con válvula de seccionamiento y tubos trompeta, ubicados entre entrada y salida de fluido térmico de la caldera.
- También se colocan, pero sin actuar directamente sobre seguridades de cuadro:
 - Un termómetro de control de temperatura de aceite de retorno.
 - Un termómetro para la temperatura de salida de gases.

ACEITE TÉRMICO.

Especificaciones del fluido:

- Aspecto: Líquido amarillo claro sin olor.
- Peso específico a 20° C: 0,877 - 0,878 kg/L.
- Peso específico a 300° C: 0,723 kg/L.
- Calor específico a 20° C: 0,44 kcal/kg° C.
- Calor específico a 300° C: 0,67 kcal/kg° C.
- Viscosidad cinemática a 20° C: 70 cSt.
- Viscosidad cinemática a 300° C: 0,4 cSt.
- Punto de inflamación: 190 – 195° C
- Color de Guedmar: 7 max.
- Intervalo de ebullición: 350 – 420° C
- Conductividad térmica a 20° C: 0,100 kcal/mh° C.
- Conductividad térmica a 300° C: 0,090 kcal/mh° C.
- Punto de congelación: < -45° C.
- Tensión de vapor a 20° C: 40 mmHg.
- Tensión de vapor a 300° C: 100 mmHg.
- Tensión de vapor a 340° C: 175 mmHg.
- Contenido de azufre: 0 %.
- Rigidez dieléctrica: > 50 kV/cm.
- Absorción de agua a 20° C: 0,02 % del peso.
- Carbón Conradson: 0,05 % del peso.
- Corrosión lámina de cobre: 1A.
- Temperatura de utilización: entre -40 y 300° C.

VI.3.2.- SISTEMA DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS.

El sistema de separación acelerada de sólidos está compuesto por los siguientes elementos, que se encuentran situados tanto en la zona cubierta como en la descubierta (plano 5 del Anexo 1).

VI.3.2.1.- Depósito de homogeneización y filtro inicial.

El alpechín que sale de la almazara entra en un depósito en acero inoxidable de homogeneización, que sirve para amortiguar posibles fluctuaciones puntuales de flujo de alpechín en la almazara.

Con el fin de evitar la entrada de sólidos que puedan dañar las membranas de las bombas neumáticas (fundamentalmente hueso de aceituna), se instala a la salida del depósito de homogeneización un filtro en acero inoxidable que separa los sólidos mayores de 2 mm (plano 6 del Anexo 1).

VI.3.2.2.- Depósitos pulmón de alpechín.

Con el fin de disponer de una cantidad de alpechín suficiente para poder funcionar durante un tiempo dado, se instalan dos depósitos pulmón de recepción del alpechín procedente de la etapa de fabricación del aceite de oliva virgen, con capacidad para 20.000 L fabricado en poliéster, con forma cilíndrica y base plana, de las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 2.400 mm.
- Altura: 4.870 mm.

Para aprovisionar al sistema de evaporación de alpechín exento de sólidos procedente de la etapa de tratamiento físico-químico, se instala un depósito pulmón de 18.000 L, fabricado en poliéster. Tiene forma cilíndrica y base plana, con las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 2.400 mm.
- Altura: 4.000 mm.

Cada uno de estos depósitos cuenta con 3 indicadores de nivel de boya, que indican si los depósitos están llenos, mediados o vacíos.

VI.3.2.3.- Equipo de preparación del polielectrolito en continuo.

Se elige el equipo comercial OBL modelo PLR-850 distribuido por la empresa Técnicas de Filtración y Bombeo (TFB) con una capacidad de 850 L/h, tensión 380 V y protección IP55 (Figura VI-4 y plano 7 del Anexo 1). Está compuesto de los siguientes elementos:

- Cuba de acero inoxidable, dividida en tres compartimentos comunicados entre si, fabricada en acero inoxidable (AISI-304) de 2.000 mm x 650 mm x 800 mm, con capacidad para 850 L.
- 3 electroagitadores de eje vertical y hélice, fabricados en acero inoxidable, con amarre por brida, con salida a 150 rpm. Motores de 0,18 kW, 1.500 rpm, 220/380 V, 50 Hz, IP55, III.
- Dosificador volumétrico, tipo TG 60 P 26/20 R, con tolva auxiliar (de 60 L y en acero inoxidable), tapa plana articulada y resistencia anticondensación. Rango de caudales 1-3,5 kg/h. Motor de 0,18 kW, 1.500 rpm, 220/380 V, 50 Hz, IP55, III.
- Sistema de llegada de agua de red compuesto por válvula de corte, manómetro, presostato, válvula reductora de presión, válvula solenoide, válvula reguladora de caudal y rotámetro de control de caudal de entrada. Presión mínima de agua de 2.5 bares.
- Mezclador de agua-polielectrolito en PVC equipado con un sistema que evite las salpicaduras, que se producen durante la etapa de mezclado.
- Armario eléctrico con mando local y a distancia, con sistema de conexionado a las sondas, agitadores, electroválvulas, dosificador, presostato y resistencia anticondensación.



Figura VI-4: Equipo de preparación de electrolito.

VI.3.2.4.- Mezclador cónico.

Fabricado en acero inoxidable, y compuesto por tubo, cono y codo de entrada. Está equipado con entrada de alpechín, acelerador de decantación y aire, y salida de la mezcla íntima entre los componentes alimentados (plano 8 del Anexo 1).

VI.3.2.5.- Decantador y accesorios.

El decantador se diseña como un depósito cilíndrico de doble pared con base cónica, en acero inoxidable, utilizado para la recepción de la mezcla alpechín-acelerador, donde se produce la decantación de fangos. Tiene tubuladuras de salida de rebose, laterales y del fondo del tanque (plano 9 del Anexo 1). Las dimensiones son:

- Diámetro pared exterior: 2.400 mm.
- Diámetro pared interior: 2.000 mm.
- Altura cilíndrica: 2.000 mm.
- Altura cónica: 1.000 mm.

Mecanismo barredor de flotantes soportado en fuente transversal, con caja de recogida lateral de recepción con motorreductor de 0,25 C.V.

Difusor de disco de membrana para favorecer la flotación de los sólidos presentes en el decantador.

Depósito en acero inoxidable de 750 mm de diámetro x 500 mm de altura con fondo cónico y con otro depósito interior de 500 mm de diámetro x 200 mm de altura, con distintas entradas en tubo de acero inoxidable con brida para acoplar agitador (plano 10 del anexo 1), situado encima del decantador.

Agitador de acero inoxidable para depósito interior con motorreductor de 0,75 C.V.

VI.3.2.6.- Depósito de recogida de fangos.

Depósito almacén de fangos fabricado en poliéster/fibra de vidrio (con tapa de acero inoxidable con media parte giratoria) de 2.500 L de capacidad para el almacenaje de los fangos acondicionados (plano 11 del Anexo 1). Provisto de un agitador de aspas en acero inoxidable para homogeneizar el fango antes de proceder a su deshidratación en el decánter horizontal. Dimensiones:

- Diámetro: 1.500 mm.
- Altura: 1.400 mm.

VI.3.2.7.- Bombas de impulsión de líquidos.

Las bombas que forman parte de este sistema se reflejan en el plano 5 del anexo 1.

- Bomba de entrada de alpechín desde la almazara al depósito de homogeneización. Bomba centrífuga, cuyas especificaciones son:
 - Motor: eléctrico monofásico de 220 V.
 - Potencia motor: 1,2 C.V.
 - Diámetro aspiración/envío: 30 mm.
 - Caudal máximo: 5.000 L/h.

- Bomba de doble membrana (B1) para la entrada de alpechín desde el depósito de homogeneización al depósito pulmón, cuyas especificaciones son:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas HYTREL y bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 10.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 70° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 1”.

- Bomba de doble membrana (B2) para introducir el alpechín en el mezclador cónico, cuyas especificaciones son:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas XL, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 4.500 L/h a 6 bares.
 - Temperatura de operación 20/30° C.
 - Temperatura máxima de operación 70° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 1”.

- Bomba de doble membrana (B11) para adición de polielectrolito. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas dobles de TEFLÓN y uretano, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 3.000 L/h a 6 bares.

- Temperatura máxima de operación 70° C.
- Conexiones de alimentación de aire ¼”.
- Conexiones de alimentación e impulsión ½”.
- Bomba doble membrana (B8) para trasiego del fango de alpechín. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Diafragmas y bolas de WILFLEX.
 - Caudal máximo de 15.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 65° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ½”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 2”.
- Bomba doble membrana (B7) para trasiego de alpechín sin sólidos desde el decantador hasta el depósito pulmón. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Diafragmas de HYTREL, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal MÁXIMO de 10.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 70° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 1”.
- Bomba de doble membrana (B10) para utilizar el agua condensada previamente enfriada (como se indicará posteriormente) en el equipo de preparación de polielectrolito, cuyas especificaciones son:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas XL, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 4.500 L/h a 6 bares.
 - Temperatura de operación 20/30° C.
 - Temperatura máxima de operación 70° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 1”.

VI.3.3.- SISTEMA DE EVAPORACIÓN.

El sistema de evaporación (plano 12 del Anexo 1) está compuesto por los siguientes elementos:

- Precalentador de alpechín.
- Cámara de flash.
- Evaporador multitubular.
- 2 Intercambiadores de placas.
- Bombas de impulsión de líquidos.

El diseño del precalentador y del evaporador se llevó a cabo, de la misma forma que se hizo para la planta móvil, mediante el programa de cálculo por ordenador STX (Shell and Tube Heat Exchanger Design) de la empresa Hiprotech Engineering Software (HTC).

Cabe recordar que la determinación del coeficiente individual de transmisión de calor se realiza mediante relaciones experimentales, para situaciones y geometrías concretas, en función de relaciones adimensionales. El programa STX divide el intercambiador en 7 zonas dentro de cada cual toma temperaturas medias para calcular las propiedades térmicas, minimizando de esta manera el error. La precisión que tiene el programa STX en el cálculo de los coeficientes individuales de película (h) para flujo turbulento en tubos es de aproximadamente un $\pm 15 \%$.

Los fluidos que intervienen en el proceso son alpechín y aceite térmico, cuyas propiedades térmicas son las mismas que se reflejan en las tablas V-1 y V-2 utilizadas en el diseño del precalentador y evaporador de la planta móvil.

VI.3.3.1.- Precalentador de alpechín.

Dado que se eligió como fluido caloportador aceite térmico por las razones argumentadas en el apartado V.3.1, se procedió al diseño y construcción de un intercambiador de calor tipo BEU. El cometido de este equipo es que el alpechín alcance las condiciones de presión y temperatura requeridas (370 kPa y 140° C) para proceder a la etapa de evaporación súbdita.

Para realizar el diseño del precalentador es necesario introducir una serie de datos térmicos, tanto del alpechín como del aceite térmico, y datos geométricos para poder realizar el diseño del precalentador. Dichos valores se recogen en las tablas VI-1 y VI-2.

Tabla VI-1: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el precalentador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal de aceite (kg/h)	8.110
Caudal de alpechín clarificado (kg/h)	3.000
Temperaturas del aceite entrada / salida (° C)	180 /140
Temperaturas del alpechín entrada / salida (° C)	80 / 140
Carga alpechín / aceite (kW)	209 / 213
Presión de trabajo alpechín / aceite (kPa)	370 / 350
Caída de presión admitida alpechín / aceite (kPa)	10 / 10
Presión de diseño alpechín / aceite (kPa)	600 / 520
Factor de suciedad R	$1,76 \cdot 10^{-4}$
Relación vapor / líquido	0

Fuente: Elaboración propia y SUGIMAT, S.L.

Tabla VI-2: Datos geométricos básicos para el precalentador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo tubos	BEU
Longitud de los tubos (mm)	1.830
Diámetro de los tubos (mm)	19,05
Separación de los tubos (mm)	25,4
Ángulo de los tubos (°)	60

Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos los datos térmicos y geométricos, el programa STX genera los siguientes datos de diseño del precalentador.

Tabla VI-3: Resultados del diseño del precalentador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro de la carcasa (mm)	438
Diámetro del haz (mm)	425
Número de tubos	168 / 190
Pasos por carcasa	20
Superficie (m ²)	19
U de servicio (W/m ² ° C)	239,84
U calculado (W/m ² ° C)	236,95

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el diseño mediante el programa STX, se elaboró el plano del equipo y se entregó a la empresa encargada de su fabricación y del montaje del equipo (ELFRAN, S.A.), construyendo un precalentador de las siguientes características (plano 13 del Anexo 1):

Precalentador de alpechín sin sólidos de 19 m², tipo BEU, con capacidad para tratar 3.000 L/h, con salto térmico del alpechín de 80 a 140° C, y caudal de aceite térmico de 8.110 kg/h con un salto térmico de 180 a 140° C.

- Condiciones de diseño:
 - Temperatura 180° C.
 - Presión 3,5 kg/cm².
 - Superficie de intercambio 19 m².
- Materiales:
 - Carcasa, cabezal, placa tubular y deflectores, AISI 304.
 - Tubos A 249, Tp 304, soldados longitudinalmente.
 - Tubuladuras AISI 304, DIN 2576.
 - Bridas principales de acero al carbono, con collarines de asiento de acero inoxidable AISI 304.
 - Soportes de acero al carbono, soldados a la carcasa sobre escudos de acero inoxidable.

- Dimensiones:
 - Carcasa de 406 mm de diámetro x 3 mm de espesor x 2.000 mm de longitud parte cilíndrica, fondo tipo Klöpffer, con tubuladuras DN 50 para circulación de aceite térmico y dos soportes tipo cuna.
 - Cabezal de 406 mm de diámetro x 3 mm de espesor x 200 mm de longitud parte cilíndrica, fondo tipo Klöpffer, tabique de circulación y dos tubuladuras DN 50 para circulación de alpechín.

VI.3.3.2.- Cámara de flash.

Para conseguir un correcto funcionamiento del proceso de evaporación súbita, se construyó la cámara de flash que consiste en un recipiente de DN 18", de longitud total 1.650 mm, en disposición vertical, y alimentación localizada a 900 mm del techo y 750 mm del fondo, totalmente construido en acero inoxidable AISI 304. Cuerpo cilíndrico de 457 mm de diámetro por 1.500 mm de longitud, con fondos tipo Klöpffer, tres tubuladuras DN 50, DIN 2576 y soportes tipo ménsula. Una vez elaborado el plano correspondiente (plano 14 del Anexo 1), se entregó a la empresa encargada de su fabricación y montaje (ELFRAN, S.A.) para que procedieran a su construcción.

Lo mismo que en la planta piloto, el paso del alpechín a la cámara de flash está regulado por una válvula de fuelle que sólo permite el paso cuando el alpechín alcanza las condiciones de presión y temperatura requeridas (370 kPa y 140° C). Las condiciones de funcionamiento son las mismas que en la planta móvil.

VI.3.3.3.- Evaporador multitubular.

Se construyó un intercambiador de calor tipo reboiler BKU, con los materiales de los tubos y carcasa que se utilizan similares a los que se emplean en el precalentador. Asimismo, el programa utilizado en el diseño del equipo es mismo, siendo necesario introducir nuevamente los datos térmicos (para el alpechín y para el aceite térmico) y geométricos para realizar el diseño del evaporador. Estos se muestran en las Tablas VI-4 y VI-5.

Tabla VI-4: Datos térmicos de alpechín y aceite térmico para el evaporador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Caudal de aceite (kg/h)	54.375
Caudal de alpechín (kg/h)	2.812
Temperaturas del aceite entrada / salida (° C)	180 /140
Temperaturas del alpechín entrada / salida (° C)	100 / 100
Carga alpechín / aceite (kW)	1.404 / 1.317
Presión de trabajo alpechín / aceite (kPa)	345 / 108
Caída de presión admitida alpechín / aceite (kPa)	20 / 20
Presión de diseño alpechín / aceite (kPa)	647 / 647
Factor de suciedad R	$1,76 \cdot 10^{-4}$
Relación vapor / líquido	0,8

Fuente: Elaboración propia y SUGIMAT, S.L.

Tabla VI-5: Datos geométricos básicos para el evaporador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Tipo tubos	BKU
Longitud de los tubos (mm)	3.050
Diámetro de los tubos (mm)	19,05
Separación de los tubos (mm)	25,4
Ángulo de los tubos (°)	60

Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos los datos térmicos y geométricos, el programa STX proporciona los datos de diseño del evaporador que se recogen en la Tabla VI-6.

Tabla VI-6: Resultados del diseño del evaporador de la planta industrial de demostración.

PARÁMETRO	VALOR
Diámetro del cabezal (mm)	1.118
Diámetro de la carcasa (mm)	1.448
Diámetro del haz (mm)	1.105
Número de tubos	1360 / 1.364
Superficie (m ²)	278
U de servicio (W/m ² ° C)	83,21
U calculado (W/m ² ° C)	83,16

Fuente: Elaboración propia.

Finalizado el diseño mediante el programa STX, se realizaron los planos del equipo y se entregaron a la empresa encargada de la fabricación y del montaje del mismo (ELFRAN, S.A.), construyendo un evaporador de las siguientes características (plano 15 del Anexo 1):

Un evaporador de 278 m², tipo BKU, para tratar 2.812 kg/h de alpechín. Aporte energético para evaporación a 100° C. Flujo aceite térmico de 54.375 kg/h, salto térmico de 180 a 140° C.

- Condiciones de diseño:
 - Temperatura 180° C.
 - Presión 3,5 kg/cm².
 - 278 m² de superficie de intercambio.
- Materiales:
 - Reboiler, cabezal, placa tubo y deflectores, AISI 304.
 - Tubos A-249 Tp 304, soldados longitudinalmente.
 - Tubuladuras, AISI 304, DIN 2576.
 - Bridas principales de acero al carbono con collarines de asiento de acero inoxidable AISI 304.
 - Soporte de acero al carbono, soldados al cuerpo sobre escudos de acero inoxidable.

- Dimensiones:
 - Reboiler de 1.067 mm de diámetro x 4 mm de espesor x 3500 mm de longitud de la parte cilíndrica, fondos tipo Klöpfer de 5 mm de espesor, tres tubuladuras DN 50 para circulación de alpechín, mirilla DN 100 y deflector rebosadero. Dispone de dos soportes tipo cuna y boca de DN 700 para montaje de haz tubular.
 - Cabezal distribuidor de DN 700, construido en chapa de 5 mm de espesor con fondo tipo Klöpfer. Dispone de tabique de circulación y dos tubuladuras DN 50, para circulación de aceite térmico.
 - Haz tubular formado por 211 horquillas de tubo de 19,05 mm de diámetro x 1,65 mm de espesor x 3.050 mm de parte recta, montados en disposición cuadrangular sobre placa tubular de 40 mm de espesor. Dispone de 4 baffles de soporte transversales con sus correspondientes patines, tirantes y distanciadores.

VI.3.3.4.- Intercambiadores de placas.

Con el fin de aprovechar el calor latente de vaporización del agua presente en el alpechín, se diseñaron dos intercambiadores de placas para precalentar el alpechín hasta los 90° C y para cubrir las necesidades energéticas de la almazara (plano 16 del Anexo 1). La empresa ALFA-LAVAL fue la encargada de su construcción.

Intercambiador de placas para precalentar el alpechín, con los flujos en contracorriente:

- Condiciones de diseño:
 - Fluido caliente: 380,5 kg/h de vapor saturado, con un salto de temperatura de 100 a 96,8° C.
 - Fluido frío: 3.000 kg/h de agua, con un salto de temperatura de 20 a 90° C.
- Materiales:
 - Material de las placas: AISI 316.
- Dimensiones:
 - N° de placas totales efectivas 17/19, con posibilidad de ampliación.
 - Espesor de las placas 0,50 mm.
 - Capacidad total de intercambio 243,8 kW.
 - Area de transmisión de calor 2,38 m².
 - Presión de diseño prueba 10/13 bares.
 - Temperatura de diseño 120° C.

Intercambiador de placas para las necesidades energéticas de la almazara, con los flujos en contracorriente:

- Condiciones de diseño:
 - Fluido caliente: 181,4 kg/h de vapor saturado, con un salto de temperatura de 100 a 98° C.
 - Fluido frío: 3.300 kg/h de agua, con un salto de temperatura de 60 a 90° C.
- Materiales:
 - Material de las placas: AISI 316.
- Dimensiones:
 - N° de placas totales efectivas 10/12, con posibilidad de ampliación.
 - Espesor de las placas 0,50 mm.
 - Capacidad total de intercambio 115,4 kW.
 - Área de transmisión de calor 1,68 m².
 - Presión de diseño prueba 10/13 bares.
 - Temperatura de diseño 120° C.

VI.3.3.5.- Bombas de impulsión de líquidos.

En el plano 12 del anexo 1 se encuentran numeradas las bombas que pertenecen a este sistema.

- Bomba doble membrana (B3) que se utilizará para trasvasar el alpechín sin sólidos al tratamiento térmico. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas HYTREL, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal 15.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 70° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ½”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 2”.
- Bomba doble membrana (B4) de recirculación en el precalentador. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en acero inoxidable (AISI 316).
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas de VITÓN, bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 6.000 L/h a 6 bares.

- Temperatura máxima de operación 200° C.
- Conexiones de alimentación de aire ¼”.
- Conexiones de alimentación e impulsión 1”.
- Bomba de doble membrana (B6) para retirar el rebose del evaporador. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en acero inoxidable (AISI 316).
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas de VITÓN y bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo de 3.600 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 180° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión ½”.
- Bomba de doble membrana (B5) para la introducción del alpechín desde el flash al evaporador. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en acero inoxidable (AISI 316).
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas de VITÓN y bolas de TEFLÓN.
 - Caudal máximo 6.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 200° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión 1”.
- Bomba de doble membrana para la aireación y enfriamiento del agua condensada. Especificaciones:
 - Construcción del cuerpo y asientos en polipropileno.
 - Accionamiento neumático.
 - Membranas de XL, bolas de poliuretano.
 - Caudal máximo 3.000 L/h a 6 bares.
 - Temperatura máxima de operación 120° C.
 - Conexiones de alimentación de aire ¼”.
 - Conexiones de alimentación e impulsión ½”.

VI.3.3.6.- Tuberías calorifugadas.

- Tuberías.
 - Tubería de acero estirado s/s DIN-2440. Diámetro: 5". Longitud: 18 m.
 - Tubería de acero estirado s/s DIN-2440. Diámetro: 2.1/2". Longitud: 12 m.
 - Tubería soldada ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 2". Longitud: 18 m.
 - Tubería soldada ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1.1/2". Longitud: 6 m.
 - Tubería soldada ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1.1/4". Longitud: 6 m.
 - Tubería soldada ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1". Longitud: 6 m.
 - Tubería soldada ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 3/4". Longitud: 6 m.

- Bridas.
 - Brida c/cuello PN-16 DIN-2633 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 5". 6 ud.
 - Brida c/cuello PN-16 DIN-2633 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 4". 3 ud.
 - Brida c/cuello PN-16 DIN-2633 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 2.1/2". 4 ud.
 - Brida c/cuello PN-16 DIN-2633 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 2". 5 ud.
 - Brida plana PN-10 DIN-2576 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 2". 15 ud.
 - Brida plana PN-10 DIN-2576 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 1". 4 ud.
 - Brida plana PN-10 DIN-2576 equipada (juntas y tornillos). Diámetro: 1/2". 1 ud.

- Codos.
 - Curva 90° N-3. Diámetro: 5". 14 ud.
 - Curva 90° N-3. Diámetro: 2.1/2". 6 ud.
 - Codo soldar ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 2". 16 ud.
 - Codo soldar ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1.1/2". 3 ud.
 - Codo soldar ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1". 4 ud.
 - Codo soldar ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 3/4". 2 ud.

- Ensamblés.
 - Ensamble a evaporador. Diámetro: 5". 2 ud.
 - Ensamble a precalentador. Diámetro: 2". 2 ud.
 - Ensamble a evaporador. Diámetro: 2". 2 ud.
 - Ensamble a Flash. Diámetro: 2". 1 ud.
 - Ensamble a precalentador. Diámetro: 1". 1 ud.
 - Ensamble a evaporador. Diámetro: 1". 1 ud.

- Montajes de enlaces.
 - Montaje válvula a bridas. Diámetro: 5". 2 ud.
 - Montaje válvula a bridas. Diámetro: 2.1/2". 3 ud.
 - Montaje filtro a bridas. Diámetro: 5". 1 ud.
 - Montaje filtro a bridas. Diámetro: 2.1/2". 1 ud.
 - Montaje válvula de tres vías a bridas. Diámetro: 4". 1 ud.
 - Montaje válvula de tres vías a bridas. Diámetro: 2". 1 ud.
 - Montaje válvula a bridas. Diámetro: 2". 7 ud.
 - Montaje válvula a bridas. Diámetro: 1.1/4". 2 ud.
 - Montaje válvula a bridas. Diámetro: 1/2". 1 ud.
 - Montaje bomba a bridas. Diámetro: 1". 1 ud.
 - Montaje válvula automática roscada. Diámetro: 3/4". 1 ud.
 - Montaje válvula de seguridad a bridas. Diámetro: 2". 2 ud.
 - Montaje termómetros. Diámetro: 1/2". 5 ud.
- Reducciones.
 - Reducción concéntrica soldada STD. Diámetro: 5" * 4". 3 ud.
 - Reducción concéntrica soldada STD. Diámetro: 2.1/2"*2". 6 ud.
 - Reducción concéntrica ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 2"*1/2". 1 ud.
 - Reducción concéntrica ASTM SCH-10S AISI-304. Diámetro: 1"*3/4". 1 ud.
- Manguitos.
 - Manguito forjado. Diámetro: 1/2". 5 ud.
 - Manguito forjado AISI-316. Diámetro: 1/2". 5 ud.
- Enlaces.
 - Enlace H-H AISI-316. Diámetro: 2". 2 ud.
 - Enlace M-H AISI-316. Diámetro: 3/4". 2 ud.
- Entronques.
 - Entronque SCH-40 AISI-316. Diámetro: 2". 2 ud.
 - Entronque SCH-40 AISI-316. Diámetro: 1.1/4". 1 ud.
 - Entronque SCH-40 AISI-316. Diámetro: 3/4". 2 ud.
- Injertos:
 - Ejecución injerto. Diámetro: 5". 1 ud.
 - Ejecución injerto. Diámetro: 2.1/2". 3 ud.

- Ejecución injerto. Diámetro: 2". 1 ud.
- Ejecución injerto. Diámetro: 1". 1 ud.
- Ejecución injerto. Diámetro: 3/4". 1 ud.

- Válvulas.
 - Válvula de asidero con cono de regulación PN-16 fabricada totalmente en acero inoxidable. Diámetro: 50". Cantidad: 7.
 - Válvula de asidero con cono de regulación PN-16 fabricada totalmente en acero inoxidable. Diámetro: 32". Cantidad: 1.
 - Válvula de asidero con cono de regulación PN-16 fabricada totalmente en acero inoxidable. Diámetro: 25". Cantidad: 1.
 - Válvula de drenaje de bola PN-16 fabricada totalmente en acero inoxidable. Diámetro: 1". Cantidad: 1.
 - Válvula de seguridad fabricada en acero al carbono. Diámetro: 50/80". Cantidad: 1.
 - Válvula de seguridad fabricada en acero al carbono. Diámetro: 25/40". Cantidad: 1.

- Aislamiento:
 - Aislamiento de evaporador de 50 mm de espesor. 1 ud.
 - Aislamiento de precalentador de 50 mm de espesor. 1 ud.
 - Aislamiento de Flash de 50 mm de espesor. 1 ud.
 - Aislamiento de tuberías de 50 mm de espesor. 1 ud.

VI.3.4.- EQUIPO MAGNÉTICO DE ABLANDAMIENTO DE AGUAS.

De igual forma que en la planta móvil, en esta planta la función del equipo magnético es evitar la formación de calcificaciones, eliminando la dureza temporal del alpechín y evitando su deposición en el proceso de evaporación, sometiendo el alpechín clarificado a un intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales e impiden su deposición en las tuberías. En este caso se instala el acondicionador anti-calcáreo POLAR PI-20 con prefiltro, de las siguientes características:

- Diámetro de entrada: 3/4"
- Diámetro de salida: 3/4"
- Capacidad nominal: 30 L/min.
- Longitud: 216 mm.
- Diámetro externo: 102 mm.
- Peso: 6,3 kg.

VI.3.5.- COMPRESOR.

Se instala una unidad compresora de tornillo de una etapa modelo GA 18/7,5, con inyección de aceite, refrigerada por aire, accionada por un motor eléctrico acoplado al compresor mediante transmisión por correas y regulada mediante un sistema automático de funcionamiento todo-nada.

- Especificaciones:
 - Nivel sonoro: 72 dB (A).
 - Presión máxima de trabajo: 7,5 bares.
 - Presión normal de trabajo: 7 bares.
 - Presión mínima de trabajo: 4 bares.
 - Velocidad de motor: 1.460 rpm.
 - Caudal de aire libre: 2,97 m³/min.
 - Potencia absorbida: 18,9 kW.
 - Potencia absorbida en descarga: 6 kW.
 - Temperatura del aire a la salida: 36° C.
 - Capacidad del depósito de aceite: 9 L.
 - Capacidad del ventilador de refrigeración: 40,8 m³/min.
 - Válvula de salida del aire comprimido: R1 1/4".
 - Tubería de purga de condensado:
 - Manual, diámetro interior 4 mm.
 - Automático, diámetro interior 5 mm.
- Dimensiones:
 - Longitud: 1.118 mm.
 - Anchura: 792 mm.
 - Altura: 970 mm.
 - Peso de la unidad completa: 465 kg.
- Condiciones de referencia:
 - Presión de aspiración: 1 bar.
 - Temperatura de aspiración 20° C.
 - Humedad relativa 0 %.

La unidad compresora está formada por los siguientes componentes:

SISTEMA DE COMPRESIÓN.

Formado por dos tornillos en una sola etapa de compresión, en cuya cámara de compresión se inyecta aceite para absorber el calor de la compresión, para lubricar los rodets y sellar las fugas de aire. En su conjunto se incluyen:

- Filtro de aspiración del tipo seco.
- Válvula de aspiración de apertura y cierre automático.
- Válvula antirretorno en la salida del elemento compresor.
- Termostato de aire en la salida del elemento compresor.
- Termómetro indicador de temperatura del aire a la salida del elemento compresor.
- Indicador del estado del filtro de aspiración.
- Circuito de aspiración. Tiene por objeto conseguir la inyección de aceite en la cámara de compresión, en los cojinetes de los rodets y en los engranajes de transmisión. El aceite almacenado en el depósito se bombea hasta los puntos de lubricación mediante el aire a presión. Como consecuencia el sistema no precisa bomba de lubricación. Está equipado con los siguientes elementos:
 - Filtro de aceite con by-pass incorporado.
 - Válvula de paso de aceite a la cámara de compresión.
 - Restrictor del flujo en la línea principal de aceite.
 - Restrictor del flujo en la línea de barrido de aceite.

DEPÓSITO SEPARADOR AIRE-ACEITE.

Situado a continuación de elemento compresor y antes del refrigerador, tiene como fin separar el aceite del aire. Esto se consigue por medio de un efecto centrífugo a la entrada y un filtrado posterior del aire en un filtro de fibra de vidrio. Equipado con los siguientes elementos:

- Elemento separador de aceite.
- Indicador del nivel de aceite.
- Válvula de seguridad.
- Válvula de mínima presión.
- Válvula de purga.
- Tapón de llenado.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR AIRE.

El aire y el aceite se enfrían en dos refrigeradores de aluminio. La refrigeración se produce por medio de un ventilador axial, accionado desde el eje rotor hembra del compresor. Existe un sistema de evacuación, manual y automático, con una válvula para el drenaje del agua condensada.

MOTOR ELÉCTRICO.

De las siguientes características:

- Potencia: 18,5 kW.
- Factor de servicio: 1,1
- Tensión 380 V a 50 Hz.
- Protección IP-54.
- Aislamiento clase F.

PANEL DE MANDO, REGULACIÓN Y CONTROL.

En el interior de la cabina se encuentra un panel con los dispositivos eléctricos y neumáticos para mando del motor, regulación y seguridad del compresor.

El sistema de regulación está diseñado para que el compresor arranque y pare automáticamente, en función de la presión del aire en la red. También permite que en el arranque no exista contrapresión en la válvula de aspiración.

Un relé temporizado permite regular el tiempo de marcha en descarga del compresor, y un interruptor permite efectuar la descarga manual.

Dispone de *sistema de seguridad* para parada del compresor por alta temperatura del aire o por sobrecarga del motor. Elementos:

- Arrancador estrella-triángulo.
- Presostato de aire para automatizar el proceso de carga y descarga.
- Transformador 550-220/24 V para mando.
- Interruptor automático de protección.
- Relé de bloqueo y relés auxiliares.
- Relé temporizador de marcha en vacío.
- Válvula solenoide.

ELEMENTOS DEL PANEL DE CONTROL:

- Indicadores:
 - Presión y temperatura del aire suministrado.

- Lámparas de señalización:
 - Funcionamiento automático
 - Tensión en el panel.
 - Sobrecarga motor.
 - Alta temperatura en el compresor:

- Dispositivos de mando:
 - Cuenta horas marcha motor.
 - Pulsador de arranque.
 - Pulsador de parada.
 - Interruptor carga/descarga.
 - Pulsador prueba de lámparas.
 - Termostato de parada del compresor.
 - Pulsador para comprobar presión antes del separador de aceite.

- Cabina insonorizada. Todos los elementos descritos anteriormente están instalados en el interior de una cabina metálica con tres puertas de visita y recubierta con material que absorbe el ruido, con objeto de conseguir el nivel sonoro que se garantiza.

DEPÓSITO PULMÓN.

Depósito para aire comprimido en acero inoxidable, de 500 L de capacidad, forma cilíndrica y de las siguientes dimensiones:

- Diámetro: 700 mm.
- Altura: 1.300 mm.

VI.3.6.- SISTEMA DE REGULACIÓN.

Existen varios equipos en los que es necesario diseñar y construir sistemas de regulación. Como se vio en el capítulo V, tanto el precalentador, como la cámara de flash y el evaporador necesitan un sistema de regulación para su correcto funcionamiento.

VI.3.6.1.- Sistema de regulación de temperatura en el precalentador.

Para controlar la temperatura de salida del alpechín del precalentador, se instaló en la línea de aceite térmico el sistema de regulación compuesto por los siguientes elementos:

- Dos válvulas manuales de fuelle de fundición. GG 40,3 PN 16 DN 65.
- Un filtro de aceite. PN 16 DN 65.
- Una válvula motorizada de tres vías para el fluido térmico. PN 16 DN 50.
- Un regulador electrónico digital a microprocesador de temperatura.
- Una sonda de temperatura PT 100.

VI.3.6.2.- Sistema de regulación de temperatura en el evaporador.

Del mismo modo, para controlar el proceso de evaporación del alpechín en el evaporador, se instaló en la línea de aceite térmico el sistema de regulación compuesto por los siguientes elementos:

- Dos válvulas manuales de fuelle de fundición. GGG 40,3 PN 16 DN 125.
- Un filtro de aceite. PN 16 DN 125.
- Una válvula motorizada de tres vías para el fluido térmico. PN 16 DN 100.
- Un regulador electrónico digital a microprocesador de temperatura.
- Una sonda de temperatura PT 100. Mod. WT 01.

VI.3.6.3.- Sistema de presión en secundario.

Para el proceso de flash, se instaló un sistema de regulación compuesto por:

- Transductor electrónico de presión, gama 0-5 bares señal 4/20 mA.
- Fuente de alimentación a 24 V de corriente continua.
- Válvula neumática de dos vías de paso del alpechín de caudal 3000 L/h. (Inoxidable con posicionador).
- Regulador electrónico digital a microprocesador para presión.
- Sonda de temperatura PT 100.

VI.3.6.4.- Material adicional para el control del proceso.

Además, fue necesario instalar los siguientes elementos:

- Válvula on-off neumática de acero inoxidable.
- Electroválvula piloto de aire para válvula on-off.

- Convertidor electroneumático in 4/20 mA out 0.2-1 bar.
- 8 sondas de temperatura PT 100.
- Conjunto mando manual ST 5102.
- Separador de presión térmico mod. MGS9/1B, temperatura de trabajo 140° C en transmisor EXPR 5.
- Indicador a MP 200.
- Regulador a microprocesador 3.300 L.
- Conmutador de 6 posiciones.
- Separador de presión térmico mod. MGS9/1B, Temperatura de trabajo 140° C en transmisor EXPR5 de su propiedad.
- Generador bucle de corriente.
- Controlador secundario: Controlador digital que permite la visualización de lecturas efectuadas por cualquier otro instrumento que disponga de salida 0/20 mA. Este controlador también dispone de una entrada negativa de 0/20 mA, por lo que sus aplicaciones pueden extenderse a la visualización y regulación de la diferencia entre dos valores medidos. Especificaciones:
 - Alimentación: 110/220 V, 50/60 Hz.
 - Salida: 0/20 mA de 300 Ω. máximo.
 - Entrada: + 0/20 mA y - 0/20 mA.
 - Potencia: 3 W máximo.

VI.3.7.- EQUIPO DE SECADO MECÁNICO DE ORUJO.

El objetivo fundamental que se persigue al realizar esta instalación es completar la planta de tratamiento de residuos, incorporando un sistema de secado mecánico de fango de alpechín (que también puede utilizarse para realizar pruebas con orujos de dos fases) con recuperación de parte del aceite presente en el alpechín, produciéndose un aumento de la rentabilidad del proceso.

El tratamiento del fango de alpechín se lleva a cabo sometiendo al mismo a una etapa de centrifugación, para disminuir la humedad, en un decánter horizontal, donde se obtienen tres corrientes: aceite, alpechín y fango deshidratado, que es utilizado como fuente calorífica.

El equipo de secado mecánico y recuperación de aceite se adquiere a la empresa ALFA-LAVAL, se trata de un sistema de obtención de aceite de oliva de segunda mano, que está compuesto por los siguientes elementos:

- Batidora vertical.
- Bomba de masa de 2.500 kg/h.
- Decánter horizontal.
- Centrífuga vertical.
- Cuadro eléctrico general.

VI.4.- INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

En este apartado se describe los procesos de instalación y puesta en marcha de la planta de tratamiento de alpechines y de cada uno de los equipos que la constituyen, así como los inconvenientes que se presentaron en el arranque de la misma.

VI.4.1.- FONTANERIA.

Los elementos instalados en la planta de tratamiento para el trasiego de las distintas corrientes son las siguientes.

VI.4.1.1.- Llaves y válvulas.

- Llave de esfera de 1/2" de latón. 20 Ud.
- Llave de esfera de 1" de latón. 23 Ud.
- Llave de esfera de 2" de latón. 11 Ud.
- Llave de esfera de 3" de latón. 1 Ud.
- Llave de aguja de 1/2" de latón. 3 Ud.
- Llave de esfera de 32 mm de P.V.C. 20 Ud.
- Llave de esfera de 50 mm de P.V.C. 1 Ud.
- Llave de esfera de 63 mm de P.V.C. 42 Ud.
- Electroválvula motorizada de 2". 16 Ud.
- Electroválvula de 1 1/2" DANFOSS (SATEQ). 6 Ud.
- Electroválvula de 1" DANFOSS (SATEQ). 1 Ud.
- Electroválvula 1" - 24 V. 2 Ud.
- Válvula esférica motorizada 2" 220 V. 2 Ud.
- Válvula globo 1/2". 1 Ud.
- Válvula de retención de 1/2". 2 Ud.
- Válvula de retención de 1". 1 Ud.

VI.4.1.2.- Tuberías y mangueras.

- Tubería de presión de 63 mm. 330m.
- Tubería de presión de 32 mm. 245m.
- Tubería de hierro galvanizada de 1/2". 54 m.
- Tubería de hierro galvanizada de 1". 112 m.
- Tubería de hierro galvanizada de 1 1/2". 18 m.
- Tubería de acero negro de 2". 75 m.
- Tubería de P.V.C. de 63 mm. 160 m.
- Tubería de P.V.C. de 90 mm. 45 m.
- Tubería de P.V.C. de 160 mm. 10 m.
- Tubería de polietileno de 1/2". 98 m.
- Tubería de acero negro de 3/4". 52 m.
- Tubería de acero negro de 1". 10 m.
- Manguera agrícola 1" 200 m.
- Manguera flexible 1". 300 m.

VI.4.1.3.- Resto de instalación.

- Racores de hierro y P.V.C. de diferentes tamaños. 150 Ud.
- Contadores de agua fría para la medida del flujo de alpechín y floculante.
 - Contador de agua fría de 1". 1 Ud.
 - Contador de agua fría de 1 1/2". 2 Ud.
- Codos y enlaces de P.V.C.
 - Codo de P.V.C. 90° de 160 mm. 2 Ud.
 - Codo PVC 45° de 32 mm. 7 Ud.
 - Codo PVC 90° de 32 mm. 4 Ud.
 - Codo PVC 90° de 63 mm. 50 Ud.
 - Enlace PVC M. R. M. 32-1. 2 Ud.
 - Enlace PVC P 32. 2 Ud.
 - Enlace PVC 63-2". 12 Ud.
- Abrazaderas.
 - Abrazaderas 31-33. 20 Ud.
 - Abrazadera 33-36. 12 Ud.
 - Abrazadera 36-39. 25 Ud.

- Machones, manguitos y tes.
 - Manguito portabridas 125. 1 Ud.
 - Machón PVC 3/4". 2 Ud.
 - Manguito PVC M32-1. 4 Ud.
 - Machón latón 1/2-3/4. 1 Ud.
 - Machón reductor de latón 1/2"-1/4". 1 Ud.
 - T PVC de 63 mm. 20 Ud.

- Manómetros.
 - Manómetro de 0 - 4 bares (SATEQ). 1 Ud.
 - Manómetro esfera de 50 mm de diámetro. 2 Ud.
 - Manómetro de esfera de 63 cm de diámetro. 1 Ud.

- Espigas, conectores y reducciones.
 - Espiga latón 1"-25. 2 Ud.
 - Espiga PVC 1". 6 Ud.
 - Espiga recto ABS 1"-30. 5 Ud.
 - Conector manguera de 1/2". 1 Ud.
 - Conector de manguera de 3/4". 5 Ud.
 - Reducción tuerca PVC 1"-3/4". 4 Ud.
 - Reducción tuerca PVC 1"-3/4". 1 Ud.
 - Reducción tuerca latón 1/4" x 1/2". 1 Ud.
 - Reducción tuerca latón 1/4" x 1/2". 1 Ud.

- Filtros.
 - Filtro de gasoil de 1/2". 1 Ud.
 - Filtro de latón de 1 1/2". 1 Ud.
 - Filtro de latón de 1/2". 1 Ud.

- Grupo de presión para garantizar que la presión de entrada del agua al equipo de preparación de polielectrolito es la adecuada. Marca ELIAS de 0,8 C.V. 1 Ud.

VI.4.2.- COMPRESOR E INSTALACIÓN NEUMÁTICA.

La instalación del compresor y las tuberías correspondientes la llevó a cabo la empresa BECO, S.L.

La línea de aire comprimido se realiza en tubería de hierro fundido hasta los distribuidores, y en tubo de poliamida desde estos hasta los elementos accionados por aire. Está compuesta de cinco distribuidores con su correspondiente filtro de aceite y purga de agua. A partir de estos distribuidores se lleva el aire comprimido a los distintos elementos de la planta que lo necesitan. Para su mantenimiento se deben purgar periódicamente (incluido el compresor y el depósito de aire), y se deben rellenar de aceite cuando lo necesiten, para ello la correspondiente línea debe estar sin presión.

- Distribuidor 1. Lleva el aire a los dos tiros de la caldera. Deberá estar siempre abierta, ya que de lo contrario no se abrirían las electroválvulas del tiro forzado y no funcionará la caldera.
- Distribuidor 2. Suministra aire a los siguientes elementos:
 - Mezclador cónico. El aire en el mezclador cónico está siempre en funcionamiento y por lo tanto, debe permanecer abierto.
 - Bomba para la adición de polielectrolito (B11). Va provista de una electroválvula que corta el flujo de aire (para arrancar o parar la bomba), y se acciona desde la estación de preparación de polielectrolito.
 - Bomba de circulación de fango de alpechín (B8) a la etapa de secado mecánico, que funciona a ritmo alto, y al no necesitar que tenga flujo constante (envía el fango de alpechín desde el depósito a la batidora) no necesita electroválvula para arrancar o parar la bomba.
 - Bomba para llevar el alpechín sin sólidos del decantador al depósito pulmón (B7).
- Distribuidor 3. Alimenta dos bombas fundamentales en el proceso:
 - Bomba de alimentación de alpechín a floculación (B2), con su correspondiente electroválvula para el aire, accionada desde el cuadro eléctrico de la estación de preparación de polielectrolito.
 - Bomba de entrada de alpechín a evaporación (B3), con electroválvula para el aire y accionada desde el panel eléctrico de control.
- Distribuidor 4. Se encarga de suministrar aire al sistema de evaporación, concretamente a los siguientes elementos:

- Bomba de entrada de alpechín desde el flash al evaporador (B5), que debe estar en funcionamiento siempre que esté funcionando el sistema de evaporación.
- Antirretorno del precalentador.
- Bomba de recirculación de alpechín en el precalentador (B4).
- Válvulas del proceso de flash.
- Distribuidor 5. Suministra aire a 3 bombas del proceso.
 - Bomba de entrada de alpechín desde el depósito de homogeneización al depósito pulmón (B1).
 - Bomba para retirar el rebose del evaporador (B6) en caso de que se produzca un aumento en el nivel del mismo.
 - Bomba para la aireación y enfriamiento del agua condensada.

VI.4.3.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

La instalación eléctrica la llevó a cabo una empresa local (Electricidad Corredera), exceptuando el pupitre de mando y control y el armario eléctrico para control de electroválvulas, que los construyó una empresa de Valladolid (Potencia y Control Electrificaciones, S.L.).

VI.4.3.1.- Sistema de iluminación.

- Proyector para lámpara de descarga. 5 Ud.
- Tira de tubo de acero. 12 Ud.
- Tubo CHAFLAN. 25 m.
- Racor. 12 Ud.
- Cable para enchufe y alumbrado. 850 m.

VI.4.3.2.- Cableado.

- Cable de 70 mm. 55 m.
- Cable de 120 mm. 120 m.
- Cable de 1,5 mm. 950 m.
- Cable de 2,5 mm. 630 m.
- Cable de 4 mm. 180 m.
- Cable de 16 mm. 170 m.
- Cable apantallado. 100 m.

VI.4.3.3.- Accesorios.

- Tubo de acero de 13 mm. 12 m.
- Curva de acero de 13 mm. 3 Ud.
- Caja estanca. 6 Ud.
- Tubo SAPA de 13 mm. 100 m.
- Racor de 13 mm. 54 Ud.
- Tubo SAPA de 11 mm. 50 m.
- Racor de 11 mm. 26 Ud.
- Tubo SAPA de 21 mm. 20 m.
- Racor de 21 mm. 6 Ud.
- Tubo SAPA de 39 mm. 10 m.
- Racor de 39 mm. 2 Ud.
- Tuerca de acero de 13 mm. 54 Ud.
- Tuerca de acero de 11 mm. 26 Ud.
- Tuerca de acero de 21 mm. 6 Ud.
- Caja de abrazadera de PG.20. 1 Ud.
- Caja de abrazadera de PG.18. 1 Ud.
- Canaleta UNEX. 12 m.
- Empalme canaleta UNEX. 1 Ud.
- Curva canaleta UNEX. 1 Ud.
- Cuadro HIMEL de 70x50. 1 Ud.
- Terminal de 70 y 120. 12 Ud.
- Soldadura plata racor. 8 Ud.
- Bolsa de collarines. 1 Ud.
- Caja de 2M estancas. 5 Ud.
- Enchufe CETAD de 32 A. 2 Ud.
- Base de enchufe de 16 A METRON. 10 Ud.
- Placa de toma de tierra completa. 1 Ud.

VI.4.3.4.- Cuadros de mando.

- Suministro y montaje de pupitre de mando y control según indicaciones.
- Suministro y montaje de armario para control de electroválvulas según indicaciones.

VI.4.4.- CALDERA DE ACEITE TÉRMICO.

La instalación y puesta en marcha de la caldera de aceite térmico la realizó la empresa SUGIMAT, S.L. en Sotoserrano. Los pasos a seguir para poner en funcionamiento la caldera son los siguientes.

- 1.- Se sitúan todos los mandos del panel de la caldera en cero.
- 2.- Se activa el interruptor de corriente a la caldera y se pulsa el botón de rearme de corriente, suena la sirena y se pulsa a continuación el botón de paro de sirena.
- 3.- Se pulsa el botón de rearme de seguridades.
- 4.- Se coloca el interruptor de la caldera en modo manual. Hay que tener en cuenta que en esta situación no funciona la bomba de circulación de aceite térmico.
- 5.- Se pone en funcionamiento el sinfín de alimentación (sinfín corto que introduce el orujo en la caldera descrito en el apartado VI.3.1.2.).
- 6.- Se acciona el sinfín largo en modo manual, comenzando a añadir el orujo, que entra en la caldera hasta llenar el hogar de la misma. Una vez realizada esta operación se ponen todos los botones de nuevo a cero y se comienza de nuevo.
- 7.- Si se está procediendo al arranque de la caldera, antes de pasar a modo automático se cierra la caldera con la puerta que contiene el quemador de gasoil y se accionan los interruptores marcha quemador y marcha 2, y en el panel de control de la caldera el mando quemador. El quemador empieza automáticamente una secuencia de encendido que dura unos 100 s. Si al final no se produce la ignición, se enciende una luz en el lateral y se debe pulsar el botón de rearranque. Una vez encendido el quemador de gasoil, se mantiene así hasta que el aceite térmico alcance unos 80° C. No conviene sobrepasar esta temperatura porque en modo manual no funciona la bomba de circulación, y se puede estropear el aceite.
- 8.- Se coloca el interruptor general en modo automático, se pulsa rearme de corriente, y a continuación paro de sirena.
- 9.- Se pulsa nuevamente rearme de seguridades para continuar.
- 10.- Se pone en funcionamiento la bomba de circulación de aceite térmico, asegurándose de que la llave manual del bypass de aceite térmico está abierta para evitar posibles subidas de temperatura del mismo. Además, se cierran las válvulas manuales de entrada de aceite térmico al precalentador y al evaporador hasta que la caldera adquiera una temperatura aproximada de 100° C. Una vez adquirida esta temperatura, se abren nuevamente estas dos válvulas.

- 11.- Se activa el tiro forzado, asegurándose antes que la válvula de aire de las trampillas está abierta, para que puedan saltar los tiros. Se pulsa el botón de rearme de seguridades hasta que se oye como salta el tiro y se mantiene durante unos segundos pulsado este botón, hasta que cuando se suelta el botón de rearme de seguridades los tiros permanecen en funcionamiento.
- 12.- Se acciona el sinfín de la caldera (sinfín corto) que ya no parará.
- 13.- Se acciona el aire primario.
- 14.- Se acciona el mando quemador, asegurándose primero de que el conducto del gasoil está abierto.
- 15.- Una vez que se ha alcanzado una temperatura próxima a 150° C, se procede a cambiar la puerta de la caldera con quemador de gasoil por la otra puerta provista de mirilla. Para ello se paran los interruptores de mando quemador, aire primario y tiro forzado, y una vez intercambiadas las puertas, se vuelve a arrancar de nuevo el tiro forzado y el aire primario como se indica en los puntos 11 y 13. Si la temperatura del aceite se mantiene con el orujo que entra en la caldera, no es necesario volver a poner la puerta provista de quemador.

Hay que tener en cuenta que el aire primario no funciona con el quemador de gasóleo, ya que no es necesario debido al ventilador que tiene el propio quemador. Con la caldera en automático el sinfín de alimentación, el quemador y la alimentación de combustible sólo funcionan si está accionado el tiro forzado.

VI.4.5.- SISTEMA DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

A partir del plano 5 del anexo 1 (en el cual se reflejan la numeración de bombas y depósitos que se citaran posteriormente), un equipo de instaladores de la zona realizó la instalación del sistema de separación acelerada de sólidos, para posteriormente proceder a la puesta en marcha del mismo utilizando alpechín procedente de la almazara Comunal Sotoserrano.

El alpechín que sale de la almazara va directamente al depósito de homogeneización (depósito 0), que sirve para poder amortiguar posibles fluctuaciones puntuales de flujo en la almazara. La salida de este depósito tiene una válvula manual que se cierra para efectuar la limpieza del filtro de alpechín que separa los sólidos mayores de 2 mm que puedan atascar o dañar las bombas neumáticas. Este filtro se debe limpiar a diario.

La bomba B₁ de entrada de alpechín impulsa el líquido a través del filtro hasta el depósito n° 1 (y/o n° 2) de 20.000 L de capacidad. La bomba de entrada de alpechín debe estar constantemente en funcionamiento, para almacenar el alpechín, salvo paradas para limpieza del filtro.

Una vez que el alpechín se encuentra en este depósito, se procede a llevarlo hasta la etapa de separación acelerada de sólidos. Los depósitos pulmón de alpechín disponen de una electroválvula y una válvula manual. Si se parte del depósito 1, la válvula manual correspondiente debe estar abierta así como la electroválvula para llevar el alpechín a la etapa de floculación. Si hay que cortar en algún momento el proceso, esta es la válvula que primero se cierra (accionamiento desde el panel de control), ya que corta la entrada de alpechín al mezclador cónico. El depósito n° 2 en principio permanecerá con la electroválvula cerrada, ya que este depósito es de reserva por si falla algún mecanismo y hay que almacenar alpechín sin sólidos o con sólidos indistintamente, dependiendo de la necesidad momentánea. En general se utiliza como complemento al depósito n° 1, almacenando alpechín con sólidos cuando se llena el primero.

La bomba B₂, encargada de llevar el alpechín a la entrada del mezclador cónico, se acciona desde el cuadro eléctrico de la estación de preparación de polielectrolito (pulsador P1 de la figura VI-5) y debe mantener un ritmo constante de flujo y sólo se parará en caso de interrupción del proceso de floculación.

Por otra parte, es necesario poner en funcionamiento la estación de preparación de polielectrolito, que está automatizada, pero hay que cerciorarse de dos cosas: que tenga suficiente cantidad de polielectrolito en la tolva de entrada, y sobre todo, que la presión de agua sea suficiente para poder preparar la disolución (mínimo de 3 bares).

Debido a las deficiencias en el suministro de agua de red en esta zona, se decide incorporar el grupo de presión descrito en el apartado VI.4.1.3 que garantiza el correcto funcionamiento de la estación de preparación.

El sistema de funcionamiento de la estación es el siguiente:

- 1.- Como se observa en el plano 7 del anexo 1, existen 3 depósitos en el equipo que están comunicados por la parte de abajo mediante válvulas manuales. Para que la preparación de polielectrolito sea adecuada, el líquido debe pasar de un depósito a otro por rebose, por lo que estas llaves deben de estar cerradas.
- 2.- Se abre la válvula manual de entrada de agua, que tiene un manómetro que indica la presión con la que llega el agua, que deberá ser mayor de 3 bares.

- 3.- Se acciona el interruptor de puesta en marcha (nº 1 de la figura VI-5) y comienza a entrar agua en el primer tanque, y en unos segundos el sinfín alimentador comenzaría a añadir polielectrolito. En el arranque del equipo conviene que no se añada floculante sólido hasta que en el primer depósito el agua no alcance el agitador, lo que se consigue accionando el interruptor que para el sinfín alimentador (nº 2 de la figura VI-5).
- 4.- Para la primera preparación hay que tener una hora de agitación hasta que el floculante tenga la textura deseada. Una vez que se ha preparado, la estación funciona en continuo preparando disolución a la vez que trabaja.

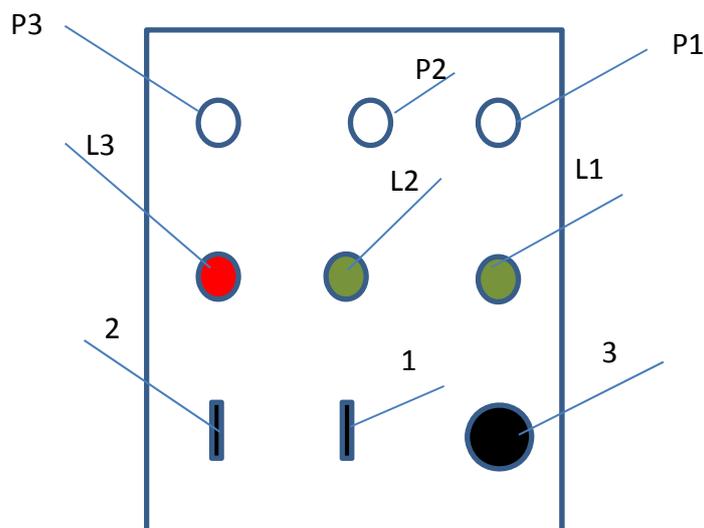


Figura VI-5: Cuadro eléctrico del equipo de preparación de polielectrolito.

El significado de los interruptores, indicadores y pulsadores del cuadro eléctrico es:

- 1: puesta en marcha del equipo.
- 2: sinfín alimentador.
- 3: rearme.
- L1: luz verde: entrada de agua al equipo.
- L2: luz verde: alimentación de polielectrolito (sinfín alimentador en funcionamiento).
- L3: luz roja: se enciende accionando el interruptor nº 2, que para la alimentación de polielectrolito.
- P1: bomba de entrada de alpechín a floculación
- P2: bomba de entrada de polielectrolito a floculación.
- P3: electroválvula motorizada para purga de fangos del decantador.

Es muy importante controlar las pérdidas de presión en el agua de alimentación de floculante, ya que si esta baja, menor de 3 bares, la estación se bloquea, dejando de preparar disolución hasta que se detecte el fallo y se accione el rearme de la estación (botón nº 3 de la figura VI-5), asegurándose de que existe presión suficiente. Para evitar este inconveniente, se instaló el grupo de presión indicado anteriormente.

Una vez preparada correctamente la disolución de floculante, se abre la válvula de salida de la estación de preparación, así como las válvulas de salida y entrada de la bomba B₁₁, que lleva el floculante desde la estación a la entrada del mezclador cónico. Esta bomba debe mantener un ritmo constante que vendrá dado por el flujo del alpechín. Si se para deberá pararse el proceso de floculación.

El alpechín y el floculante se mezclan en el mezclador cónico junto con una corriente de aire, manteniendo las válvulas de entrada y salida abiertas. La mezcla alpechín - floculante pasa a continuación al depósito interior (de forma cilíndrica) y, por rebose, al depósito situado en la parte superior del decantador. Un tubo de 2" lleva el alpechín floculado al tubo interior del decantador. El clarificado cae por gravedad (o bien mediante la bomba B7) al depósito de alpechín sin sólidos (nº 3), para lo cual la válvula que hay en la salida del decantador al depósito nº 3 debe estar abierta.

La salida de sólidos (fango de alpechín) del decantador se regula con una electroválvula motorizada que se acciona desde el cuadro eléctrico del equipo de preparación de polielectrolito (pulsador P3 de la figura VI-5). Se acciona durante períodos de 30 s cada dos horas aproximadamente.

Para proceder al proceso de deshidratación (extracción de aceite en la etapa de secado mecánico), la salida del fango de alpechín del depósito de almacenamiento se regula con otra electroválvula, y es la bomba B₈ la encargada del funcionamiento de esta etapa (que se abrirá cuando se vaya a extraer parte del aceite contenido en el fango).

Después de parar el proceso de floculación conviene limpiar el circuito alimentando sólo con agua de red.

VI.4.6.- EQUIPO DE EVAPORACIÓN Y REGULACIÓN DEL MISMO.

El montaje del equipo lo llevó a cabo la empresa suministradora de los elementos más importantes que conforman este equipo, concretamente ELFRAN, S.A. La numeración de los distintos depósitos y bombas de circulación se refleja en el plano 12 del Anexo 1.

Para trasladar el alpechín sin sólidos desde el depósito n° 3 hasta la zona de evaporación se utiliza la bomba B₃, abriendo la válvula del depósito de alpechín sin sólidos y las de entrada y salida de esta bomba, así como la electroválvula del depósito. Esta bomba suministra alpechín sin sólidos al precalentador y deberá estar en funcionamiento cuando esté en marcha el proceso de evaporación. Si se desea interrumpir el proceso de evaporación, la manera más rápida es cerrar la electroválvula del depósito 3 desde el panel de control.

La bomba B₄, que recircula el alpechín en el precalentador hasta adquirir la temperatura adecuada, también debe estar en funcionamiento mientras el proceso de evaporación esté en marcha. La bomba B₅ que introduce el alpechín desde el flash al evaporador o desde el depósito de control de nivel, debe estar en funcionamiento siempre que esté en marcha el proceso de evaporación, procurando que no haya fluctuaciones en el nivel del evaporador. Por último, la bomba B₆ retira el concentrado del evaporador y se acciona cada cierto tiempo, en función del flujo de entrada al evaporador.

Por otra parte, existen dos bombas que trasladan el agua condensada desde los intercambiadores de placas:

- Bomba para la aireación y enfriamiento en una fuente antes de su vertido a cauce público (bomba B₉).
- Bomba que lleva el agua enfriada hasta la estación de preparación de polielectrolito (bomba B₁₀).

Respecto a la regulación del proceso de evaporación, se disponen de un controlador PID para cada una de las dos válvulas de tres vías de entrada de aceite a precalentador y evaporador, y un tercero para la válvula neumática de apertura del flash como se observa en la figura VI-6.



Figura VI-6: Controladores PID del proceso.

Tanto para el evaporador como para el precalentador y el flash, los valores de las constantes de los controladores son los siguientes.

Tabla VI. 7: Valores de consigna de los controladores PID.

BANDA	INTERVALO	VALORES RECOMENDADOS
Proporcional (P)	0 - 30.000	6.000 - 8.000
Integral (I)	0 - 3.000	500 - 800
Derivativo (D)	0 - 3.000	0

Fuente: Elaboración propia.

Para controlar el nivel del evaporador se construye un depósito de regulación de nivel del mismo y se instala una sonda de nivel, que manda la señal a los controladores de estas tres válvulas. Con los tres visualizadores en modo AUTO, el funcionamiento en automático ha sido programado de la forma siguiente:

Cuando el evaporador está bajo de nivel, el controlador correspondiente actuará del siguiente modo:

- Se anula la entrada de aceite caliente al evaporador.
- Obliga al controlador del flash a dejar pasar alpechín directamente al evaporador para recuperar el nivel, a la vez que la bomba B₅ introduce alpechín desde el depósito de regulación del nivel del evaporador.

Cuando el nivel del evaporador está alto, el controlador para la bomba de entrada de alpechín sin sólidos a evaporación, a la vez que pone en marcha la bomba para retirar el rebose del evaporador (bomba B₆).

VI.5.- BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA TÉRMICA.

En este apartado se analizan los balances de materia y de energía térmica. Nuevamente, hay que tener en cuenta que la composición del alpechín es variable a pesar de provenir siempre de la misma almazara, y que su comportamiento frente a la etapa de separación acelerada de sólidos no es siempre la misma. Se necesita establecer una serie de valores iniciales para poder realizar esta tarea. Cabe destacar que con el alpechín que se genera en esta almazara, se produce un considerable incremento en el consumo de floculante respecto al de la planta móvil. El contenido en sólidos suspendidos es en este caso algo menor y es necesario aumentar levemente la concentración de la

disolución de polielectrolito para obtener mejores resultados en el proceso de separación acelerada de sólidos. Los valores de partida son:

- Recuperación de sólidos del alpechín 2,0%.
- Aceite en alpechín 0,5%.
- Recuperación de aceite en decánter 1%.
- Humedad fango de alpechín 90%.
- Humedad del fango deshidratado 50%.
- Consumo de floculante 75 g/m³ de alpechín.
- Concentración de la disolución de floculante 700 ppm.

El balance de materia diario correspondiente a estas estimaciones se refleja en la figura VI-

7.

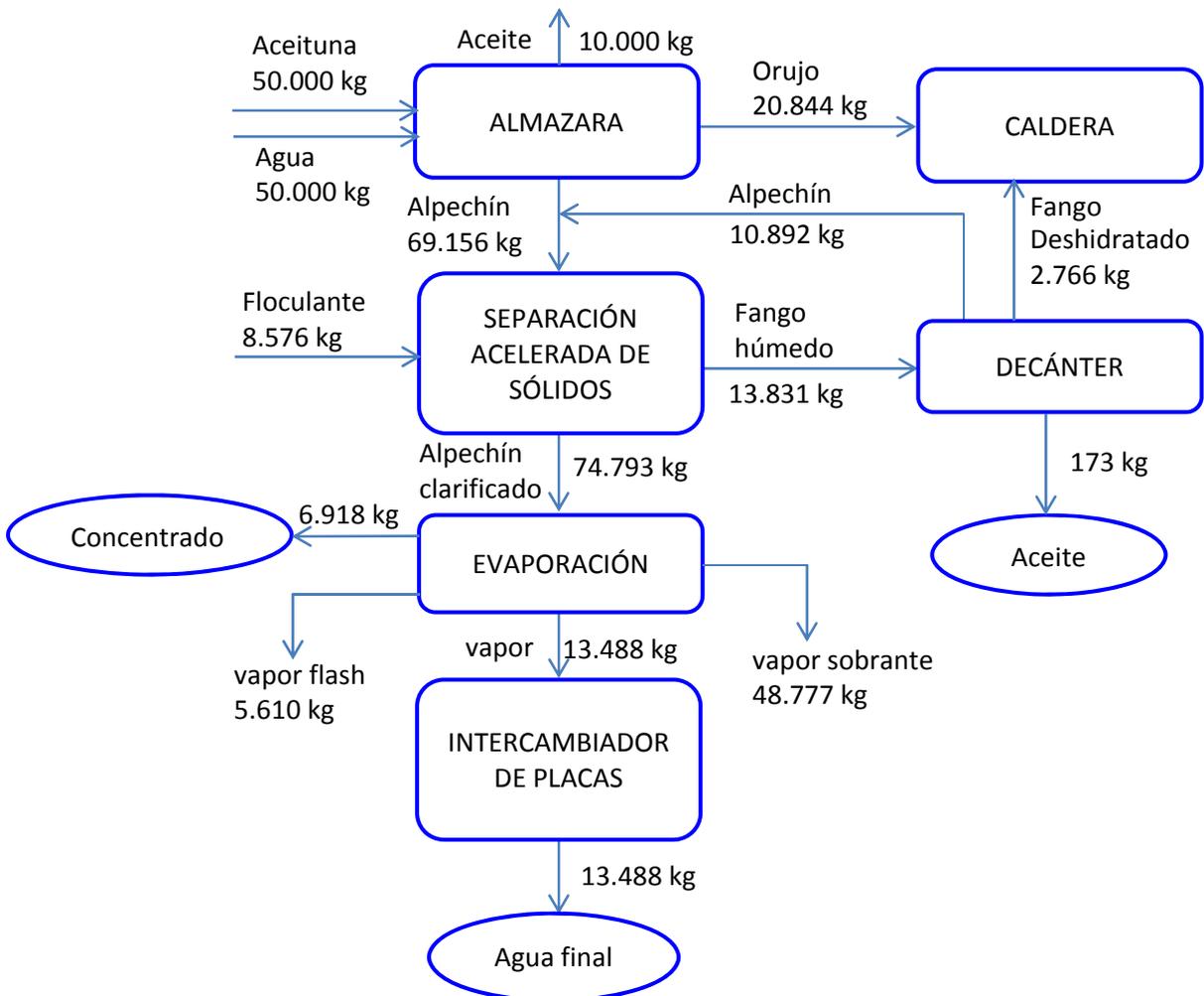


Figura VI-7: Balance de materia para la planta industrial de demostración.

Para realizar el balance de energía térmica, hay que tener en cuenta:

- La temperatura de entrada del alpechín al precalentador es de 90° C.
- En el proceso de evaporación súbdita se elimina en forma de vapor (dadas las condiciones de entrada de 140° C y 370 kPa) el 7,5%.
- En el evaporador queda el 10% como alpechín concentrado.

El consumo energético se produce en el precalentador y en el evaporador, tomando como valores medios del calor específico y del calor latente de vaporización del alpechín los del agua (4,182 kJ/kg K y 2.256,7 kJ/kg respectivamente). Los resultados que se obtienen son los siguientes:

Precalentador:

$$\dot{m} = 3.116,4 \text{ kg/h}$$

$$\Delta H = \dot{m}c_p\Delta T = 3.116,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{4,1868 \text{kJ}}{\text{kg K}} \cdot 50 \text{K} = 652.387 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 181,2 \text{ kW}$$

Evaporador:

$$\dot{m} = 2.554 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\Delta H = \dot{m}\Delta H_{EVAP} = 2.594,4 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2.256,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 5.854.783 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 1.626,3 \text{ kW}$$

La suma de los dos nos da un valor de 1.807,5 kW, lo que supone el 62,2 % de la potencia nominal de la caldera.

VI.6.- ESTUDIO ECONÓMICO.

En este apartado se realiza el análisis económico de la planta de tratamiento integral propuesta, detallando tanto los costes como los ingresos y /o ahorros generados. Dentro del apartado de costes se debe diferenciar entre los costes de explotación y los costes de amortización.

VI.6.1.- COSTES DE EXPLOTACIÓN.

Existen diversos costes de explotación a tener en cuenta a la hora de realizar el estudio económico. En el apartado correspondiente al coste de combustible existen dos aportaciones: orujo (98% del total, con un P.C.S. de 11.300 kJ/kg) y gasoil (2% del total, con un P.C.S. de 42.400 kJ/kg). Los datos finales se refieren al coste diario y al coste por m³ de alpechín.

Productos Químicos.

- Consumo de floculante: 75 g/m³.
- Precio: 5,20 €/kg.
- Coste: $80 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 0,075 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5,20 \frac{\text{€}}{\text{kg}} = 31,20 \text{ €/d}$
- Coste por m³ de alpechín: $\frac{31,20 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,45 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Combustible (Orujo de aceituna y gasoil).

- Calor total necesario: 156.305.089 kJ/d.
 - Calor aportado por el orujo 98%: 153.178.988 kJ/d.
 - Calor aportado por el gas-oil 2%: 3.126.101 kJ/d.
- Consumo de combustible:
 - Consumo de orujo: $\frac{153.178.988 \text{ kJ/d}}{0,7 * 11.300 \text{ kJ/kg}} = 19.365,2 \text{ kg/d}$
 - Consumo de gasoil: $\frac{3.126.101 \text{ kJ/d}}{0,95 * 42.400 \text{ kJ/kg}} = 77,6 \text{ kg/d}$
- Precio de combustible:
 - Precio del orujo: 0,01 €/kg.
 - Precio del gasoil: 1,0 €/kg.
- Costes:
 - Coste del orujo: $19.365,2 \text{ kg/d} * 0,01 \text{ €/kg} = 193,65 \text{ €/d}$
 - Coste del gasoil: $77,6 \text{ kg/d} * 1,00 \text{ €/kg} = 77,60 \text{ €/d}$
 - Coste total: $271,25 \text{ €d.}$
- Coste por m³ alpechín: $\frac{271,25 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = \mathbf{3,92 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}}$

Mantenimiento.

- Coste por campaña: 3.000 €
- Coste diario: 50 €d.
- Coste por m³ de alpechín: $\frac{50,00 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,72 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Electricidad.

- Potencia Instalada: 105 kW.
- Factor de utilización: 0,7.
- Precio: 0,12 €/kwh.

- Coste: $105 \text{ kW} * 0,7 * 0,12 \text{ €/kWh} * 24 \text{ h/d} = 211,68 \text{ €/d}$
- Coste por m³ de alpechín: $\frac{211,68 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 3,06 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Mano de obra.

- Horas anuales: $60 * 24 = 1.440 \text{ h/año.}$
- % Dedicación a la planta: 40%.
- Coste 8 €/h.
- Coste: $\frac{1.440 \text{ h/año} * 0,4 * 8 \text{ €/h}}{60 \text{ d/año}} = 76,80 \text{ €/d}$
- Costes de mano de obra por m³ de alpechín $\frac{76,80 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 1,11 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

VI.6.2.- COSTES DE AMORTIZACIÓN.

- Coste de la planta: 412.711 €
- Tasa de interes: 8%.
- Periodo de amortización 15 años.
- Amortización anual: 48.216,84 €
- Coste por m³ de alpechín: $\frac{48.216,84 \text{ €/año}}{60 \text{ d/año} * 69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 11,62 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

VI.6.3.- INGRESOS Y AHORROS.

Aceite recuperado.

- Aceite recuperado: 172,9 kg/d.
- Precio: 1,80 €/kg.
- Ingreso venta aceite: $172,9 \text{ kg/d} * 1,80 \text{ €/kg} = 311,22 \text{ €/d}$
- Ingreso por m³ de alpechín: $\frac{311,22 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 4,50 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Agua condensada.

- Agua recuperada: 13.488 kg/d.
- Precio agua: 0,5 €/m³.
- Ingreso agua: $13,488 \text{ m}^3/\text{d} * 0,50 \text{ €/m}^3 = 6,74 \text{ €/d}$
- Ingreso por m³ de alpechín: $\frac{6,74 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,10 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Ahorro combustible.

- Calor diario recuperado: 30.551.313 kJ.
- PCS del orujillo: 18.810 kJ/kg.
- Precio orujillo: 0,09 €/kg.
- Ahorro de orujillo: $\frac{30.551.313 \text{ kJ/d}}{18.810 \text{ kJ/kg}} * 0,09 \text{ €/kg} = 146,18 \text{ €/d}$
- Ahorro por m³ de alpechín: $\frac{146,18 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 2,12 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Concentrado de alpechín.

- Concentrado obtenido: 6.918 kg/d.
- Precio unitario: 30 €/t.
- Ingreso concentrado: $6,918 \text{ t/d} * 30,00 \text{ €/t} = 207,54 \text{ €/d}$
- Ingreso por m³ de alpechín: $\frac{207,54 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = 3,00 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}$

Costes tratamiento balsas.

- Ahorro por m³ de alpechín: **5 €/m³ de alpechín.**

Posible ahorro vapor:

- Energético. Recuperación del calor latente de vaporización y parte del calor sensible (T^a final del agua 40° C).
 - Calor diario recuperado: 136.397.730 kJ.
 - PCS del orujillo: 18.810 kJ/kg.
 - Precio orujillo: 0,09 €/kg.
 - Ahorro de orujillo: $\frac{136.397.730 \text{ kJ/d}}{18.810 \text{ kJ/kg}} * 0,09 \text{ €/kg} = 652,62 \text{ €/d}$
 - Ahorro por m³ de alpechín: $\frac{652,62 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = \mathbf{9,44 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}}$
- Agua.
 - Agua recuperada: 54.387 kg/d.
 - Precio agua: 0,5 €/m³.
 - Ingreso agua: $54,387 \text{ m}^3/\text{d} * 0,50 \text{ €/m}^3 = 27,19 \text{ €/d}$
 - Ingreso por m³ de alpechín: $\frac{27,19 \text{ €/d}}{69,156 \text{ m}^3/\text{d}} = \mathbf{0,39 \text{ €/m}^3 \text{ de alpechín.}}$

En las tablas VI-8 y VI-9 se resumen los costes y los ingresos por m³ de alpechín tratado.

Tabla VI-8: Costes del proceso de tratamiento del alpechín.

CONCEPTO	€m³ de alpechín
Productos Químicos	0,45
Combustible	3,92
Mantenimiento	0,72
Electricidad	3,06
Mano de obra	1,11
Amortización	11,62
TOTAL	20,88

Fuente: Elaboración propia.

Tabla VI-9: Ahorros y beneficios del proceso de tratamiento del alpechín.

CONCEPTO	€m³ de alpechín
Aceite recuperado	3,50
Agua condensada	0,10
Combustible	2,12
Concentrado alpechín	3,00
Balsas	5,00
Posible combustible	9,44
Posible agua	0,39
TOTAL	23,55

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, si se consigue aprovechar el calor latente de vaporización (y parte del sensible) de las corrientes de vapor, el balance económico resulta positivo.

La implantación masiva del sistema de molturación en dos fases, conllevó a que las necesidades de agua para fluidificar la pasta en el decánter fueran muy pequeñas o nulas, a la vez que disminuyó el vertido de residuos líquidos. Por el contrario, las características del orujo de dos fases (alperujo), introduce una serie de dificultades que hacen reconsiderar el problema de los residuos generados en las almazaras. Mientras que el orujo procedente del sistema de tres fases se consideraba como un subproducto, el alperujo se considera en la actualidad como el principal residuo de la industria oleícola, por lo que se decide realizar el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de tratamiento de residuos (sólidos y líquidos) generados en las almazaras.

Debido a la disminución en la generación de orujo de tres fases, y dado que el alperujo presenta un alto contenido de humedad que impide su uso directo como combustible, es necesario modificar el sistema de aporte energético para realizar la etapa de evaporación. Una de las posibilidades es sustituir el orujo de tres fases por orujillo seco, pero el impacto económico es demasiado grande. Después de varias consultas con empresas especializadas en equipos de evaporación, se decidió utilizar como sistema un evaporador a vacío con compresión de vapor, como se verá en el siguiente capítulo del presente trabajo de investigación.

**VII.- PLANTA DE DEMOSTRACIÓN PARA
EL TRATAMIENTO INTEGRAL Y
VALORACIÓN DE TODOS LOS RESIDUOS
DE ALMAZARA.**

VII.1.- INTRODUCCIÓN.

La implantación del sistema de molturación en dos fases tuvo una acogida significativa, condujo a excelentes resultados como la reducción de efluentes líquidos en el sistema. Dado que el decánter sólo tiene dos salidas (aceite y orujo de 2 fases), las necesidades de agua para fluidificar la pasta en el mismo son muy pequeñas o nulas para obtener buen rendimiento en la extracción, por lo que se produce un descenso significativo en el consumo de agua en la almazara, entre 50-70%, pero no la desaparición de residuos líquidos, que se reducen considerablemente en relación al sistema de tres fases. Debido a este descenso de residuos líquidos, la superficie dedicada a balsas de evaporación disminuyó, pero no desapareció. La presencia de residuos líquidos en las almazaras que utilizan el sistema de centrifugación en dos fases se debe fundamentalmente a dos corrientes:

- Aguas de lavado de las aceitunas.
- Aguas de lavado del aceite y maquinaria.

El agua de lavado de las aceitunas es independiente del sistema de extracción utilizado, pero el agua de lavado del aceite depende de lo limpio que se obtenga el aceite. Dado que la interfase de separación en las centrífugas horizontales de 2 fases no está tan definida como en el sistema de 3 fases, se obtiene un aceite más sucio, ya que contiene restos de agua de constitución de la aceituna (alpechín) y restos de sólidos (finos), lo que conlleva un mayor gasto de aguas de lavado de aceite en la centrífuga vertical y un aumento de los residuos líquidos. Si bien es cierto que presentan un poder contaminante mucho menor que el alpechín del sistema de 3 fases, hay que tener en cuenta que se mezclan con otras corrientes de limpieza, como las denominadas “*descargas de las centrífugas verticales*” (que llevan en suspensión finos y aceite), escurrido de tolvas, aguas de patio, etc., que elevan el valor final de la DBO₅ hasta 25.000 - 35.000 ppm frente a las 80.000 ppm de DBO₅ de los sistemas de 3 fases.

En cuanto al alperujo (orujo de 2 fases), presenta un aspecto, textura y comportamiento físico totalmente diferente al orujo de 3 fases, ya que tiene una humedad superior, mayor del 65%, al llevar incorporada el agua de constitución de la aceituna (alpechín) y en lugar de ser un sólido apilable como el orujo de 3 fases, fluye como un líquido espeso, parecido a un lodo o fango. Estas diferencias comportan un aumento de costes de manipulación, transporte y secado, así como ajustes en el proceso de extracción de aceite de orujo en las extractoras, convirtiéndose en un residuo.

Por otra parte, en la mayoría de las almazaras que utilizan el sistema de dos fases, con el fin de obtener rendimientos en aceite superiores, realizan lo que se ha dado en llamar “*repasso*” o “*remolido*” que consiste en fluidificar el alperujo con corrientes líquidas (fundamentalmente agua

de lavado de aceite), y someter la mezcla a una segunda centrifugación en el decánter de dos fases, recuperando parte del aceite pero aumentando de forma sustancial la humedad del alperujo final (valores superiores al 75%), lo que dificulta en mayor medida el proceso de extracción de aceite de orujo en las extractoras.

Con el fin de completar este trabajo de investigación, se propone una planta para el tratamiento integral y valoración de residuos generados en las almazaras que utilizan el sistema de dos fases, basándose en los resultados obtenidos en las plantas estudiadas en los capítulos V y VI, pero introduciendo cambios significativos dado que ahora el principal residuo es el alperujo.

Para la realización del proyecto **Planta de demostración para el tratamiento integral de alpechines y valorización de los residuos líquidos y sólidos generados durante el proceso de extracción de aceite oliva**, se obtuvo una subvención de la Comisión Europea de Medioambiente, dentro del programa LIFE 2004-05 (LIFE05 ENV/E/000292 OLIVEWASTE) de 2.065.585 €

VII.1.1.- EMPLAZAMIENTO Y SUPERFICIE.

El emplazamiento de la planta debe cumplir una serie de características que permitan facilitar la construcción de la misma, tales como buenas comunicaciones para que puedan transportarse fácilmente los residuos que se van a tratar, terreno apropiado suficientemente próximo a las almazaras, etc., así como la posibilidad de difusión de la planta en las zonas oleícolas más importantes de España.

La planta se emplazó en el “Paraje el Portichuelo”, Parcela 11, Polígono 35, en el Término Municipal de Baena, provincia de Córdoba, que cuenta con la siguiente situación geográfica:

Longitud:	4° 19' Oeste
Latitud:	37° 66' Norte
Altitud:	405 m.

En los planos OLIV-BAE-TOP-01 y 02 del anexo 1 se presentan los planos de situación y emplazamiento de la planta.

VII.2.- ETAPAS DEL PROCESO DE LA PLANTA DE DEMOSTRACIÓN.

Se construyó una planta para la depuración y aprovechamiento integral para los residuos generados en una almazara tipo en España (sistema de dos fases con repaso). Como se observa en la figura VII-2, que muestra el diagrama del proceso, existen dos vías claramente definidas, una para los sólidos (alperujo) y otra para los residuos líquidos (aguas de lavado y alpechines). El proceso de operación de la planta diseñada consta de las siguientes etapas.

SECADO MECÁNICO DEL ORUJO Y RECUPERACIÓN DEL ACEITE.

El alperujo mezclado con distintas corrientes líquidas existentes (fundamentalmente agua de lavado de aceite), se somete a un secado mecánico por centrifugación en un decánter horizontal que opera en tres fases, en el que se recupera parte del aceite que había quedado retenido en el alperujo. El alpechín obtenido pasa a la etapa de depuración posterior y el orujo, con una humedad en torno al 50%, se envía a la planta de compostaje junto con el sólido separado del alpechín, o bien puede ser vendido a las extractoras de aceite de orujo, dado que su humedad es similar a la del orujo de tres fases que utilizaban como materia prima antes de la aparición del sistema de dos fases.

SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

Mediante reactivos específicos y a través de procesos de coagulación-floculación, se procede a la separación acelerada de los sólidos que contienen el alpechín en suspensión. El precipitado originado en esta etapa, fango de alpechín, se aísla del resto de la disolución mediante su decantación y/o flotación. Las trazas de aceite que permanecían en el alpechín, quedan retenidas en la fase sólida, pudiendo ser parcialmente recuperadas.

ELIMINACIÓN DE LA DUREZA TEMPORAL DEL ALPECHÍN.

Se mantiene esta etapa donde se elimina la dureza temporal del alpechín haciéndolo circular dentro de un intenso campo magnético. El carbonato de calcio permanece en suspensión y se evacúa en el concentrado de la etapa de evaporación.

EVAPORACIÓN Y GENERACIÓN ELÉCTRICA.

La disolución procedente del alpechín, se somete a evaporación en un equipo que opera en continuo. El sistema de evaporación funciona a vacío y la energía calorífica para el proceso es eléctrica, de forma que esta energía se aporta al fluido por compresión de vapor. La operación en continuo permite extraer la disolución concentrada para su valorización, en la fabricación de abonos líquidos destinados al olivar u otros cultivos. Se utilizan colectores térmicos y fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica que proporcionan energía térmica y eléctrica a la planta de tratamiento.

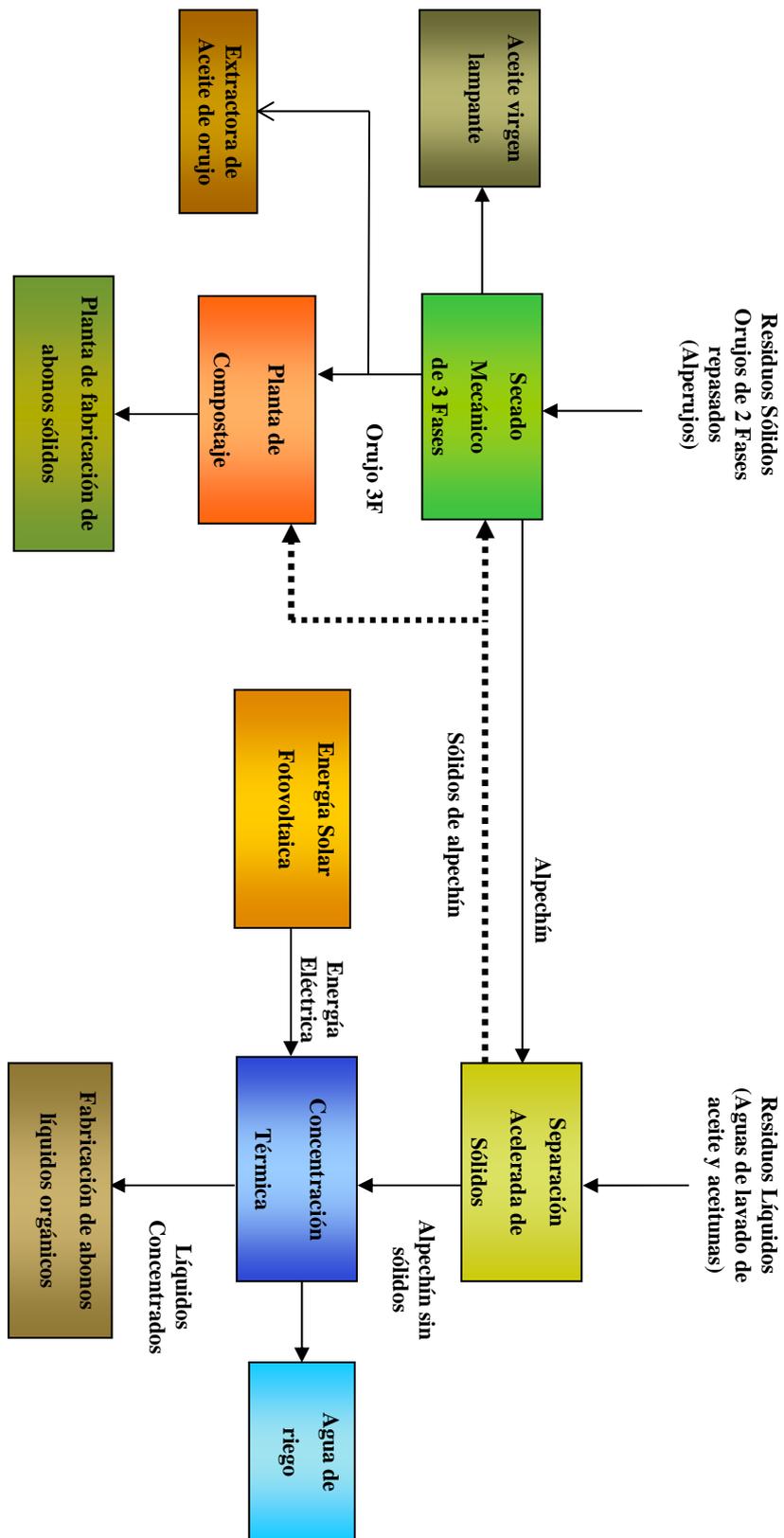


Figura VII-1: Diagrama de bloques del proceso de la planta de demostración. *PLANTA DE COMPOSTAJE Y FABRICACIÓN DE ABONOS SÓLIDOS ORGÁNICOS.*

Los fangos obtenidos en la etapa de separación acelerada de sólidos del alpechín, junto con parte del orujo procedente de la separación centrífuga, una vez separado el aceite retenido, pueden servir para ser utilizados en un proceso de compostaje o como materia prima para la fabricación de piensos.

El compostaje se lleva a cabo mediante la mezcla de los fangos de alpechín con residuos agrícolas, fundamentalmente ramones, serrín, paja, etc.

ACONDICIONAMIENTO DE LÍQUIDOS Y FABRICACIÓN DE ABONOS LÍQUIDOS.

Añadiendo los correctores adecuados que neutralizan los efectos tóxicos que puede tener el concentrado de alpechín si se emplea directamente para el riego, se obtienen abonos líquidos (foliáceo, para el suelo y para el riego por goteo), que permiten reutilizar o reciclar la gran carga de materia orgánica que lleva el alpechín y que es imprescindible para la productividad de los suelos.

REFRIGERACIÓN DE AGUA CONDENSADA.

El caudal de agua limpia procedente del evaporador pasa a un sistema de refrigeración, para su enfriamiento y aireación, y su posterior incorporación al riego o cauces públicos.

VII.3.- DISEÑO DE LA PLANTA.

La planta que se diseñó para la realización del proyecto LIFE, presenta 4 diferencias esenciales respecto a la planta descrita en el capítulo VI:

- Tratamiento de residuos sólidos y líquidos.
- Sistema de evaporación.
- Sistema de regulación y control.
- Autoabastecimiento eléctrico

La planta propuesta, cuya distribución en planta se puede observar en el plano OLIV-BAE-DIST-03, consta de los siguientes sistemas y equipos:

- Sistema de Separación Acelerada de Sólidos.
- Sistema de concentración térmica del alpechín.
- Sistema de secado mecánico.
- Sistema de control de la planta.
- Equipo magnético de ablandamiento de aguas.
- Equipo compresor de aire.
- Sistema de generación eléctrica (Instalación solar fotovoltaica).

- Planta de compostaje.
- Planta de preparación de abonos líquidos.

VII.3.1.- SISTEMA DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

Este sistema, cuyo esquema se refleja en el plano OLI-BAE-ESQ.01, tiene la función de eliminar al máximo los sólidos suspendidos presentes en el alpechín con el propósito de lograr una mayor efectividad y funcionamiento sin paradas de la unidad de evaporación. En la figura VII-2 se muestran las tres líneas de separación acelerada de sólidos que se han montado en esta planta, pudiendo utilizarse la línea 3-4 como dos líneas que comparten el depósito decantador. En el plano OLIV-BAE-DEC-01 del anexo 1 se puede ver la distribución en planta. Dentro de este sistema se pueden distinguir varios subsistemas.



Figura VII-2: Líneas de separación acelerada de sólidos.

VII.3.1.1.- Subsistema de filtración de sólidos gruesos.

El proceso de separación de sólidos se inicia haciendo pasar el alpechín por un tamiz vibrador que separa los sólidos de mayor tamaño presentes en el alpechín, construido en acero inoxidable AISI-304, para un caudal de 5.000 L/h. Componentes:

- Base donde se encuentran los elementos productores de la vibración tridireccional y el motor.

- Motor vertical de 1 C.V. trifásico 380 V, 50 Hz con protección IP 55, con dos salidas de eje, sobre las cuales van montadas dos masas excéntricas regulables, que permiten lograr las amplitudes necesarias para conseguir un mejor rendimiento.
- Parte periférica de la base con puerta para permitir un fácil acceso a los excéntricos.
- Conjunto de clasificación compuesto por tres pisos de tamices con telas metálicas. Cada elemento de clasificación tiene una o varias salidas laterales de los productos.

VII.3.1.2.- Subsistema de preparación de polielectrolito.

Su función es preparar el floculante que, mezclado íntimamente con el alpechín en el mezclador cónico, provoca la agregación de los sólidos presentes en el alpechín, acelerando el proceso de separación de sólidos que se lleva a cabo en los decantadores. Está compuesto por un equipo de preparación de polielectrolito, con una capacidad de 1.500 L, suministrado por la empresa TFB y similar al descrito en el capítulo VI. Consta de los siguientes elementos:

- Cuba de acero inoxidable, dividida en tres compartimientos comunicados entre sí, fabricada en acero inoxidable (AISI-304) de 2.000 mm x 900 mm x 1.000 mm, con capacidad para 1.500 L.
- Bomba centrífuga de presión de agua, con válvula de regulación de caudal.
- Tres electroagitadores de eje vertical y hélice, fabricados en acero inoxidable, con amarre por brida, salida a 150 rpm. Motores de 0,18 kW, 1.500 rpm, 220/380 V, 50 Hz, IP55, III.
- Dosificador volumétrico, con tolva auxiliar (de 100 L y en acero inoxidable), tapa plana articulada y resistencia anticondensación. Rango de caudales 1-3,5 kg/h. Motor de 0,18 kW, 1.500 rpm, 220/380 V, 50 Hz, IP55, III.
- Mezclador de agua-polielectrolito en PVC equipado con un sistema que evite las salpicaduras, que se producen durante la etapa de mezclado.
- Armario eléctrico con interruptor general con bloqueo de puerta, con sistema de conexionado a las sondas, agitadores, electroválvulas, dosificador, presostato y resistencia anticondensación.
- Caudalímetros para el control del volumen de agua de red o condensada por el sistema de concentración térmica consumidos para la preparación de combinado químico.
- Caudalímetro electrónico para el control del flujo del combinado químico preparado para mezclar con el alpechín.

VII.3.1.3.- Subsistema de mezcla.

La función de este subsistema es lograr la mezcla eficiente del floculante preparado en la unidad de polielectrolito con el alpechín. Esta mezcla íntima que optimiza el proceso de separación de sólidos se consigue en el mezclador cónico mediante la introducción en el mismo de floculante y de alpechín. Para favorecer la mezcla y la formación de flóculos, se instaló un sistema de inyección de aire comprimido, compuesto por 4 entradas para cada mezclador cónico. Consta de los siguientes elementos:



Figura VII-3: Mezcladores cónicos.

- Mezclador cónico, (figura VII-3) (3 u), fabricado en acero inoxidable y compuesto por tubo, cono y codo de entrada, equipado con entrada de alpechín, acelerador de separación y aire, y salida de la mezcla íntima de los componentes.
- Bomba de doble membrana, (3 u), para adición de polielectrolito.
- Bomba de doble membrana, (3 u), una por línea de decantación de sólidos, para introducir el alpechín en el mezclador cónico.
- Inyectores de aire comprimido, (3 u), fabricado en acero inoxidable, compuesto por un tubo con 4 entradas de aire por mezclador cónico, válvula 2/2 para la apertura de inyección de aire comprimido.

VII.3.1.4.- Subsistema de decantación de sólidos

Se instalaron dos tipos de líneas de decantación de sólidos, las líneas 1 y 2 con 2 etapas para el tratamiento de residuos con menor cantidad de sólidos (alpechín, agua de lavado aceite, aceitunas e instalaciones) y la línea 3-4 con 3 etapas para el tratamiento de residuos con mayor cantidad de sólidos (rechazo de depuradoras de membranas), de esta forma dota a la planta de mayor versatilidad de tratamiento de residuos de almazara, e incluso otras industrias.

El líquido procedente del subsistema de mezcla se somete a un proceso de agitación para mejorar aún más su mezclado, y es introducido en los decantadores, en los que se produce la separación por decantación hacia el fondo de los mismo, de los sólidos formados más densos que la fracción líquida del alpechín, y la flotación de los sólidos menos densos que el alpechín.

Los sólidos más densos se purgan con cierta periodicidad y los menos densos son eliminados mediante un rascador que, de manera continua, va evacuando los sólidos que aparecen en la superficie.

Los principales equipos que constituyen este subsistema son:

PARA LAS LÍNEAS 1 Y 2:

- Depósito pulmón. Depósito de regulación de caudal de entrada a la etapa de separación de sólidos, con forma cilíndrica y base plana (plano OLIV-BAE-DEC-02 del anexo1), fabricado en acero inoxidable.
- Depósito de mezcla (plano OLIV-BAE-DEC-07 del anexo 1). Situado encima del primer decantador tiene acoplado un agitador (planos OLIV-BAE-AGIT-01 y 02 del anexo 1) para asegurar la mezcla del floculante con el alpechín.
- Decantador, (2 u, planos OLIV-BAE-DEC-04, 06 y 08 del anexo1). Donde se realiza la separación por densidad de los sólidos más densos y menos densos que la fracción líquida. Está formado por un depósito cilíndrico con base cónica para la recepción de la mezcla alpechín-acelerador, en acero inoxidable, y tubuladuras de salida de rebose, laterales y del fondo del tanque.
- Mecanismo barredor de flotantes, (2 u, plano OLIV-BAE-RASQ-01 del anexo 1). Cuya función es separar los sólidos menos densos que la fracción líquida. Está soportado en puente transversal, con caja de recogida lateral de recepción.
- Depósito de líquidos (plano OLIV-BAE-DEC-17 del anexo 1). Es el depósito de decantación final de las 2 líneas y entrada al sistema de concentración térmica.
- Depósito de recogida de fangos, (2 u, planos OLIV-BAE-DEC-5 y 15 del anexo 1). Tiene como función la recogida de las distintas fracciones de sólido producidas en los decantadores, aprovechando la gravedad como fuente de energía para el movimiento de los sólidos.
- Agitador, (2 u), de acero inoxidable, con motorreductor.
- Bomba de doble membrana, (2 u), de accionamiento neumático, para conducir el alpechín desde los depósitos de sólidos a los decantadores, con la función de recircular los posibles líquidos que han sido conducidos junto con los sólidos al depósito de fangos, una vez que éstos han decantado.

- Bomba de doble membrana, (4 u), para trasiego del fango de alpechín, con la función de sacar los sólidos procedentes del depósito de fangos y conducirlos hasta su lugar de destino.
- Bomba de doble membrana, (2 u), para conducir el alpechín desde la zona de producción hasta el depósito regulador de caudal desde el que parte el alpechín a la fase de mezcla.

PARA LA LÍNEA 3:

- Depósito de mezcla, (2 u, idéntico al de las líneas 1 y 2). Situado encima del primer decantador tiene acoplado un agitador para asegurar la mezcla del floculante con el alpechín.
- Decantador, (3 u, planos OLIV-BAE-DEC-19, 21, 22 y 24). Donde se realiza la separación por densidad de las tres fracciones a separar, sólidos más densos y menos densos que la fracción líquida. Está formado por un depósito cilíndrico con base cónica para la recepción de la mezcla alpechín-acelerador, en acero inoxidable, y tubuladuras de salida de rebose, laterales y del fondo del tanque.
- Depósito de recogida de fangos, (3 u, planos OLIV-BAE-DEC 26 y 27). Tiene como función la recogida de las distintas fracciones de sólido producidas en los decantadores, aprovechando la gravedad como fuente de energía para el movimiento de los sólidos.
- Agitador, (2 u), de acero inoxidable, con motorreductor.
- Bomba de doble membrana, (2 u), de accionamiento neumático, para conducir el alpechín desde los depósitos de sólidos a los decantadores, con la función de recircular los posibles líquidos que han sido conducidos junto con los sólidos al depósito de fangos, una vez que éstos han decantado.
- Bomba de doble membrana, (3 u), para trasiego del fango de alpechín, con la función de sacar los sólidos procedentes del depósito de fangos y conducirlos hasta su lugar de destino.
- Bomba de doble membrana, (2 u), para conducir el alpechín desde la zona de producción hasta el depósito regulador de caudal desde el que partirá el alpechín a la fase de mezcla.

VII.3.2.- SISTEMA DE CONCENTRACIÓN TÉRMICA DEL ALPECHÍN.

La concentración térmica se lleva a cabo mediante un procedimiento de evaporación-condensación. El prototipo que se observa en la figura VII-4 y en el plano 9660000076 del anexo 1, y

cuyo esquema de funcionamiento se observa en los planos 9660000054 y OLI-BAE-ESQ-02 del anexo 1, está formado por:

- Evaporador de un efecto con compresión mecánica de vapor MVR. Su funcionamiento se basa en el concepto de película ascendente, donde el alpechín es bombeado mediante circulación forzada a un intercambiador de placas diseñado para evaporar entre el 70 y el 90% de agua, para posteriormente separar el concentrado del evaporado mediante un ciclón. El equipo de evaporación está formado por:



Figura VII-4: Prototipo evaporador.

- Intercambiador de placas (plano 30106-13503 del anexo 1) diseñado para evaporar alpechín, con juntas en clip-on en la parte por donde circula la fracción líquida. Las placas (casetes) están montadas sobre un marco.
- Bombas centrífugas de recirculación, equipadas con un doble sello mecánico, que mantienen un flujo constante de líquido en el evaporador.
- Ciclones separadores de líquidos y vapores, provistos de mirilla de inspección.
- Bombas centrífugas para los condensados, para drenar el vapor condensado.
- Compresor mecánico de vapor MVR (plano 5951410114 del anexo 1) con ventilador accionado mediante convertidor de frecuencia.
- Separador de incondensables, equipado con mirilla de inspección.
- Bomba de vacío de tipo anillo líquido para generar vacío y succionar los incondensables.

- Intercambiadores de calor para precalentamiento del alpechín a la entrada.
- Sensores de nivel, presión y temperatura necesarios, incluyendo válvula de vapor automática.
- Elementos de enfriamiento para la bomba de vacío, con el fin de reducir el consumo de agua en dicha bomba. Circuito cerrado que consiste en un intercambiador de placas para enfriar el agua con todas las tuberías y válvulas necesarias.
- Sistema de presión-recirculación de agua, con el fin de anular el consumo de agua de los sellos de anillo líquido de las distintas bombas, y asegurar una presión de suministro de agua a estos anillos líquidos (la presión del agua de red no es suficiente).
- Panel de control, para supervisión y control de la planta del evaporador. El panel de Control de Motores (MCC) contiene los contactores de los motores, fusibles, interruptores, lámparas, suministro de potencia y alarmas para los motores eléctricos y equipos de la planta. Además, el panel MCC contiene un PLC, fabricado por Allan Bradley, con un programa lógico. El panel se entregó con todo el software para integración en el sistema SCADA principal de la planta.

VII.3.3.- SISTEMA DE SECADO MECÁNICO DE SÓLIDOS.

Para proceder al secado mecánico del alperujo y a la vez recuperar parte del aceite contenido en él, se instalaron los siguientes equipos:

- Transportador de pasta de aceituna. Compuesto por tubo y espira con eje, construidos en acero inoxidable. Acoplado a un motorreductor de accionamiento de 3 C.V.
- Termobatidora horizontal. Accionadas por un motorreductor de 3 C.V. Con una capacidad de 3.000 L, con todas las partes en contacto con la masa construidas en acero inoxidable, y con la camisa exterior de la cámara de calefacción en acero pintado. Incluye dispositivos de detección de la temperatura de la masa, así como electroválvula y caudalímetro para agua de limpieza.
- Bomba de impulsión de la masa procedente del termobatido hasta el decánter, accionada por motovariador de 3 C.V.
- Centrífuga horizontal. Decánter constituido por:
 - Rotor tronco-cónico de acero inoxidable.
 - Tornillo sinfín de acero inoxidable reforzado en su borde de ataque con material extraduro.
 - Reductor tipo epicicloidal.

- Accionado por un motor eléctrico de 30 C.V. y dotado de embrague centrífugo para un arranque suave.
- Bancada para soportar el conjunto, construida en acero pintado y provista de soportes antivibración.
- Tamiz vibratorio para la separación de los sólidos presentes en los caldos, construido en acero inoxidable y acoplado a un motovibrador de 1 C.V.
- Conjunto de trasiego constituido por un depósito de acero inoxidable para la recepción de caldos procedentes del tamiz, y dotado de un sistema de bombas de acero inoxidable de 1 C.V.
- Centrífuga vertical para el lavado final del aceite, accionada por un motor eléctrico de 7,5 C.V.
- Centrífuga vertical para alpechín, accionada por un motor eléctrico de 7,5 C.V.
- Pupitre de control para protección, control, señalización y maniobra de los diferentes motores que integran el sistema, dotado de interruptor general, relé diferencial e instrumentos electrónicos de control de temperatura del agua de la batidora y de la masa de alimentación al decánter horizontal.

VII.3.4.- SISTEMA DE CONTROL DE LA PLANTA.

El sistema de control de la planta ha sido diseñado por la División de Automatización de la fundación CARTIF. Está basado en un autómata programable con periferia descentralizada y un sistema SCADA, además de puestos de supervisión distribuidos, desde los que el operario supervisa el proceso.

Tanto el autómata programable con la periferia descentralizada como el sistema SCADA y los puestos de supervisión distribuidos, están intercomunicados entre sí mediante la utilización de buses de campo tendidos a lo largo de la instalación.

Existen varios armarios de control debido a la arquitectura distribuida que se escogió. En el interior del armario de control principal, situado al lado del ordenador donde se instaló el sistema SCADA, se implantó la CPU del autómata programable. Desde este armario de control sale una línea de bus de campo al resto de cuadros de control distribuidos por la planta, además de al ordenador donde se encuentra el sistema SCADA. En el resto de los armarios de control distribuidos por la planta se implantó una cabecera de bus de campo, cartas de entradas/salidas y paneles de operador según las necesidades.

Como se ha comentado en el armario de control principal está instalada la CPU del autómatas programable. En la CPU, existe un programa de control, que se está ejecutando cíclicamente y de manera continua, realizando tareas de control del proceso como arrancar/parar bombas, motores, etc. Para realizar este control, la CPU a través del bus de campo (y las cabeceras de bus de los armarios de control secundarios), obtiene la información necesaria del proceso y envía las órdenes de control.

En los armarios de control distribuidos es donde se instalaron las tarjetas de entradas y salidas digitales de 24 V DC o 48 V AC. Las tarjetas de entradas y salidas están destinadas a obtener/enviar información a los diferentes elementos de la instalación industrial. Estos elementos son:

- Control y monitorización de contactos auxiliares de contactores a 48 V AC encargados de accionar válvulas motorizadas, motores de rasquetas y agitadores, bombas y tamices.
- Electroválvulas de bombas neumáticas, mezcladores cónicos.
- Instrumentación como medidores de nivel.

También se instalaron paneles de operador en las puertas de los armarios, desde los cuales se puede monitorizar y realizar acciones de control de la instalación. En caso de ser necesario, se instalarían paneles de operador en pupitres independientes a los armarios de control.

El sistema SCADA, instalado en el ordenador, permite la supervisión del funcionamiento del proceso. El paquete SCADA dispone de características de monitorización y control de variables de proceso, visualización de tendencias, notificación de alarmas, registro de históricos (y su posterior consulta) y obtención de informes. Parte de las acciones del paquete SCADA pueden también ser realizadas desde los paneles de operador distribuidos por la instalación.

Además, se instaló un módulo de teleservicio conectado directamente al bus de campo de la planta, que a través de la red telefónica conmutada, proporciona un acceso remoto a la instalación. Esto permite eliminar los errores de programación sin que ello suponga un desplazamiento hasta la instalación del personal cualificado, con el consiguiente ahorro económico y disminución de pérdidas de producción.

VII.3.5.- EQUIPO MAGNÉTICO DE ABLANDAMIENTO DE AGUAS.

De igual forma que en la planta de Sotoserrano, en esta planta la función del equipo magnético es evitar la formación de calcificaciones, eliminando la dureza temporal del alpechín y evitando su deposición en el proceso de evaporación, sometiendo el alpechín clarificado a un

intenso campo magnético, que polariza las moléculas de las sales e impiden su deposición en las tuberías. En este caso se instala el acondicionador anti-calcáreo POLAR PI-20 con prefiltro, de las siguientes características:

- Diámetro de entrada: 3/4"
- Diámetro de salida: 3/4"
- Capacidad nominal: 30 L/min.
- Longitud: 216 mm.
- Peso: 6,3 kg.

VII.3.6.- EQUIPO COMPRESOR DE AIRE E INSTALACIÓN NEUMÁTICA.

Dos unidades compresoras rotativas de paletas (una de ellas de reserva), cada una de ellas accionada por un motor eléctrico con transmisión directa a 380 V de 50 C.V. con protección IP55 clase F, acoplado al compresor.

- Especificaciones:
 - Nivel sonoro: 85 dB (A).
 - Presión máxima de trabajo: 7 bares.
 - Presión normal de trabajo: 6 bares.
 - Presión mínima de trabajo: 4 bares.
 - Velocidad de motor: 1.460 rpm.
 - Caudal de aire libre: 6,15 m³/min.
 - Potencia absorbida: 37 kW.
 - Arranque estrella/triángulo.
 - Capacidad del depósito de aceite: 19 L.
 - Válvula de salida del aire comprimido: 1 1/2" G.
 - Purga de condensado automática.
- Dimensiones:
 - Longitud: 1.915 mm.
 - Anchura: 805 mm.
 - Altura: 1.168 mm.
 - Peso de la unidad completa: 630 kg.
- Condiciones de referencia:
 - Presión de aspiración: 1 bar.

- Temperatura de aspiración 20° C.
- Humedad relativa 0 %.
- Motor eléctrico. Características:
 - Potencia: 37 kW.
 - Tensión 380 V a 50 Hz.
 - Protección IP-55.
 - Aislamiento clase F.

El sistema de regulación se diseñó para que el compresor arranque y pare automáticamente, en función de la presión del aire en la red. Dispone de dispositivos de seguridad sobre las partes en movimiento, de presión y eléctricas.

- Accesorios.
 - Secador de aire.
 - Depósito pulmón de aire comprimido de 2.000 L.

La instalación de aire comprimido se realizó en tubería de hierro fundido hasta los distribuidores, y en tubo de poliamida desde estos hasta los elementos accionados por aire. Está compuesta de ocho distribuidores con su correspondiente filtro de aceite y purga de agua. Para su correcto funcionamiento se deben purgar periódicamente (incluido el compresor y el depósito de aire), y se deben rellenar de aceite cuando lo necesiten, para ello la correspondiente línea debe estar sin presión.

VII.3.7.- SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

La instalación solar fotovoltaica corrió a cargo de la empresa ENERMAN, S.A., participante como socio en el proyecto LIFE. Se ubicó en la cubierta de la nave industrial donde se construyó la planta de tratamiento integral de residuos como puede observarse en la figura VII-5.

La climatología de la localidad ofrece en el ciclo de las dos últimas décadas, unas temperaturas medias mensuales, máximas y mínimas absolutas de 17°, 27° y 8,5° C, respectivamente.



Figura VII-5: Instalación solar fotovoltaica.

En cuanto a grado de insolación, Baena supera las 2.795 horas/año de insolación (horas de sol), con una radiación máxima en superficie inclinada superior a 1.000.000 kJ/m².

El propósito de la instalación es el suministro de la energía eléctrica generada por ella a la planta de tratamiento y a la red de B.T. a un punto de conexión trifásico a 400V.

La energía es producida por un sistema de módulos fotovoltaicos de 56.100 W de potencia a 666 VDC y cuenta con dos inversores de 25 kW que emplea IGBTs como polos de potencia para la conversión de corriente continua a corriente alterna, y su posterior inyección a la red.

Los módulos estarán ubicados sobre la cubierta de la nave, anclados mediante soportes. El campo solar consta de 330 módulos conectados en 22 series de 15 módulos, orientados hacia el Suroeste con una desviación de 10° respecto a la dirección sur y con un ángulo de inclinación de 20°.

Los elementos que componen el sistema son los que se designan a continuación. Para concluir se detallan las protecciones de la instalación.

VII.3.7.1.- Módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos instalados son del modelo STP170S-24/Ac de la marca SUNTECH. Cada módulo está constituido por un circuito de 72 células y sendos diodos de paso. Sus características, en condiciones estándar de funcionamiento según se especifica en la norma EN 61215, son las siguientes:

- Número de células: 72.
- Potencia: 170 W.
- Corriente nominal: 4,8 ACC.
- Tensión nominal: 35,6 VCC.
- Corriente de cortocircuito: 5,15 ACC.
- Tensión a circuito abierto: 44,4 VCC.
- Longitud: 1618 mm.
- Anchura: 814 mm.
- Espesor: 35 mm.
- Peso: 15,5 kg.

VII.3.7.2.- Inversor CC/CA de conexión a red.

Para la conversión de la energía producida por los módulos, se colocó un inversor trifásico de la marca INGETEAM, S.A., modelo INGECON® SUN 25, con las siguientes características:

- Entrada (DC).
 - Rango de tensión MPP 405-750 VDC.
 - Máxima tensión 900 VDC.
 - Máxima corriente 71 A.
- Salida (AC).
 - Potencia nominal 25 kW.
 - Potencia máxima 27,5 kW.
 - Tensión nominal 3 x 400 VAC.
 - Frecuencia 50 Hz.
 - Distorsión armónica < 3 % (THD).
 - Angulo de desfase 1°.
- Eficiencia.
 - Eficiencia máxima > 96 %.
 - Consumo en operación < 10 W.
- Generales.
 - Interface usuario.
 - ✓ Display + Teclado.
 - ✓ LEDs indicadores.

- Temperatura ambiente -10° C a 65° C.
- Humedad ambiente De 0 a 90%.
- Conforme a normas.
 - Mercado CE.
 - Directiva EMC EN 50081-1 y 80082-2.
 - Directiva baja tensión EN 50178.
 - Posibilidad de desconexión manual.
 - Transformador de aislamiento galvánico incluido.
- Protecciones incluidas.
 - Contra polarización inversa y sobretensiones transitorias en la entrada.
 - Contra cortocircuitos y sobrecargas en la salida.
 - Contra fallos de aislamiento.
 - Protección anti-isla.

VII.3.7.3.- Protecciones de la instalación.

Las protecciones de la instalación, se dividen en dos tramos: la parte de corriente continua, que abarca desde los módulos hasta el inversor y la parte de corriente alterna, que va desde la salida del inversor hasta el punto de conexión.

PARTE DE CORRIENTE CONTINUA.

Cada una de las 22 asociaciones de 15 módulos, disponen de fusibles seccionables en ambos polos, los cuales se distribuyen de manera separada. A la entrada en el cuadro de protecciones, se dispone de un interruptor seccionador que permite aislar la parte de continua, con respecto al inversor.

PARTE DE CORRIENTE ALTERNA.

A la salida del inversor, se colocaron las correspondientes protecciones magnetotérmicas y diferenciales. Finalmente, se instaló un interruptor general de corte de la instalación ubicado en la caja de protección y medida.

VII.3.8.- ESTRUCTURA DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE.

La planta está constituida por una estructura metálica, formando por un armazón sobre el que se fija un plástico a unos elementos de sujeción de modo que quede estanco y forme un recinto.

La estructura está formada por una nave de 8 m de ancho y una longitud de 30 m cubriendo una superficie de 240 m².



Figura VII-6: Nave de compostaje.

La altura de la planta a la canal es de 3 m, siendo la altura máxima a la cumbre de 4,6 m resultando una flecha central del arco de 1,6 m.

Los pórticos van separados entre sí una longitud de 2,5 m en el perímetro exterior resultando por tanto 13 pórticos, que se pueden dividir en:

- Pórtico piñón: es el pórtico inicial y final de la planta, en él se introducen dos pilares piñón de refuerzo.
- Pórticos centrales con pilar intermedio.

Todos los pórticos están arriostrados longitudinalmente por diferentes elementos que permiten la estabilidad estructural contra las posibles incidencias, principalmente la acción del viento. Tales elementos de arriostramiento se engloban en:

- Canales: unen todas las cabezas de mástiles, fijando además el plástico en unas omegas atornilladas a ella.
- Omegas laterales y frontales: cuya misión es fijar el plástico.
- Entibadores: arriostramiento de la estructura, en el primer y último vano.
- Refuerzos frontales: solo en los vanos primero y último
- Zig-zag: en toda la estructura.
- Correas de cumbre: en toda la estructura y correas que unen los dos primero pórticos.

Con objeto de facilitar la evacuación del agua, es conveniente dotar a la estructura de una inclinación cuyo valor deseable, y cuando el terreno y demás circunstancias así lo permitan, está en torno a 50 cm por cada 100 m de longitud.

La cúpula de la estructura portante presenta un desarrollo en arco atirantado por sus extremos dispuestos sobre mástiles, salvando una luz de 8 m y una flecha de 1,8 m.

La fijación del plástico a la omega se realizó mediante un perfil redondo de PVC que se retacó a lo largo de la omega fijando el plástico. A su vez se colocaron tornillos autotaladrantes cada 0,5 m, para evitar que el perfil de plástico pueda desprenderse bajo las acciones a que se someta la estructura. Los tornillos utilizados tienen de dimensiones 6,2 x 25 mm o 6,2 x 50 mm.

VII.3.8.1.- Características de actuación de las ventilaciones.

El invernadero dispone de una unidad de ventilación lateral con accionamiento manual. Dicha ventilación ira desde la altura de la canal al suelo. La ventilación lateral actúa sobre los faldones de la planta y los faldones de costado o frontales, permitiendo la entrada y salida de aire para evitar la condensación del aire, conseguir la temperatura de cultivo deseada, etc.

VII.3.8.2.- Cimentación y material de cubrición.

Para el anclaje de la planta no se realizó ningún tipo de cimentación. El invernadero quedó anclado al suelo mediante placa de anclaje y varillas de acero sobre hormigón ya existente.

Toda la estructura de la planta se cubrió con PLASTICO TRICAPA 3 CAMPAÑAS de larga duración. En laterales y frontales se colocó faldilla de placa de policarbonato de 1 m de altura.

VII.3.9.- PLANTA DE PREPARACIÓN DE ABONOS LÍQUIDOS.

La materia orgánica de los residuos producidos durante la extracción del aceite de oliva (alpechín, alperujo, aguas de lavado) sufren en el suelo procesos de transformación que dan lugar a ácidos húmicos, cuyas propiedades químicas y funcionales son similares a las de las fracciones húmicas existentes en los suelos. Esta transformación que es relativamente rápida da lugar al enriquecimiento del suelo en nitrógeno, fósforo y potasio y a una mejora de las propiedades estructurales de los suelos (aumento de la estabilidad de los agregados), que permite un aumento de la actividad microbiana.

En general, la aplicación de los residuos producidos durante la extracción del aceite de oliva al suelo puede ser beneficiosa para los cultivos siempre que se utilicen las cantidades y los aditivos adecuados, en el momento oportuno y añadiendo los correctores adecuados. En la fase de evaporación del proceso de tratamiento se obtiene un concentrado rico en materia orgánica con el que se obtienen abonos líquidos, foliáceos, para el suelo y para el riego por goteo, que permiten reutilizar o reciclar la gran carga de materia orgánica que lleva el residuo producido durante la extracción del aceite de oliva.

Los equipos principales, constituyentes de este sistema son:

- Depósito pulmón, (3 u). Depósito de regulación de caudal de entrada, con forma cilíndrica y base plana, fabricado en poliéster, con capacidad de 20.000 litros.
- Tolva de mezclado, (1 u). Tiene como misión el mezclado del concentrado con los correctores y abonos minerales (Nitrógeno en forma de urea cristalina, Hierro en forma quelatada, Nitrato Potásico, Zinc en forma de sulfato y Zinc en forma de MAP), estos compuestos minerales variarán en función de la época de aplicación (primavera, floración, verano u otoño).
- Bomba de doble membrana, (3 u), para trasiego del concentrado entre depósitos o alimentación a tolva mezcladora para fabricación abono líquido.
- Bomba de doble membrana, (1 u), para trasiego del abono líquido a depósitos o envases.

VII.4.- INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

Aunque se han realizado cambios considerables respecto a la planta descrita en el capítulo anterior, para alguno de los equipos que constituyen esta planta su instalación y/o puesta en marcha es similar a lo descrito en la planta de Sotoserrano, por lo que en este apartado se describen los elementos diferentes. En primer lugar se describe la instalación eléctrica, para a continuación describir la forma de operación del sistema de regulación de la etapa de separación acelerada de sólidos desde los paneles de operador y desde el SCADA, para finalizar con el sistema de evaporación.

VII.4.1.- INSTALACIÓN ELÉCTRICA.

La instalación se ajustó en todo momento al vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias, y por haber zonas húmedas, se tuvo en cuenta lo indicado en la instrucción ITC BT 30. Consta de las siguientes secciones o apartados:

VII.4.1.1.- Acometida.

La acometida desde el centro de transformación, situado a 100 m, se realizó enterrada, con manguera 0,6/1 KV de sección 3,5 x 240 mm² de cobre con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), según se establece la instrucción ITC-BT-07.

La tensión nominal es de 400 V entre fases y de 230 V entre fase y neutro.

VII.4.1.2.- Cuadro general de mando y protección.

Se eligió para su situación la sala de control, que cumple con las exigencias reglamentarias de este tipo de instalación. El cuadro esta realizado en armario metálico, con junta de goma, chasis de montaje con carriles DIN reforzados y una única puerta con llave.

El armario de potencia consta de los siguientes elementos:

- Interruptor general de la potencia adecuada a la instalación de la planta y poder de corte adecuado a las características de la instalación de la que se alimenta.
- Interruptores magnetotérmicos, con potencias y regulación de intensidades en función de los motores a los que protegen.
- Contactores de marcha de los motores que permiten su arranque y parada automáticos.

En el exterior del armario de potencia se colocaron en algunos motores y próximos a los mismos, inversores manuales protegidos con llave, que pueden permitir invertir el sentido de giro.

Los contactores arrancan desde el sistema de control programable, o desde conmutadores con llave, uno por cada contactor, situados en el interior del armario. Se dispone, así mismo, de señalizaciones de disparo de los relés magnetotérmicos y señalizaciones de marcha de los contactores, mediante contactos auxiliares a los que se conectan las correspondientes entradas digitales del PLC.

Los elementos que se accionan desde el armario de potencia son los reflejados en la tabla VII-1.

Tabla VII.1: Elementos alimentados por el cuadro de potencia

DENOMINACIÓN	SEÑAL	POTENCIA	INT. MAGNETOTÉRMICO	REG. TÉRMICO
INTERRUPTOR GRAL	IG		Disyuntor Magnético 400 A	400 A
RASQUETA 1.1	I1	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 1.2	I2	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 2.1	I3	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 2.2	I4	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 3.1	I1	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 3.2	I2	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
RASQUETA 3.3	I3	0.184 kW	Disyuntor Magnetoter. 1 A	0,64-1 A
AGITADOR 1.1	I5	0.551kW	Disyuntor Magnetoter. 1,6 A	1-1,6 A
AGITADOR 2.1	I7	0.551kW	Disyuntor Magnetoter. 1,6 A	1-1,6 A
AGITADOR 3.1	I5	0.551kW	Disyuntor Magnetoter. 1,6 A	1-1,6 A
AGITADOR 3.2	I6	0.551kW	Disyuntor Magnetoter. 1,6 A	1-1,6 A
COMPRESOR 1.1	I11	45 KW	Disyuntor Magnetoter. 100 A	60-100 A
COMPRESOR 2.1	I12	45 KW	Disyuntor Magnetoter. 100 A	60-100 A
TAMIZ	I13	0.735 kW	Disyuntor Magnetoter. 2,5 A	1,6-2,5 A
POLIELECTROLITO	I14	2.94 kW	Disyuntor Magnético 10 A	40 A
EVAPORADOR	I16	60-65 KW	Disyuntor Magnetoter. 160 A	160 A
AUTOMATA PROG.	I18		Disyuntor Magnetoter. 12 A	12 A
TOMA ORDENADOR	I19		Disyuntor Magnetoter. 12 A	12 A
TOMA ENCHUFES	I20		Disyuntor Magnetoter. 12 A	12 A
ALUMBRADO	I21		Disyuntor Magnético 40 A	40 A
MANIOBRA VÁLVULAS	I22		Disyuntor Magnetoter. 12 A	12 A
MANIOBRA POTENCIA	I23		Disyuntor Magnetoter. 12 A	12 A
MANIOBRA POTENCIA	I24		Disyuntor Magnetoter. 16 A	16 A

Fuente: Elaboración propia.

Los interruptores magnetotérmicos tienen las siguientes funciones:

- Seccionamiento: permitir intervenir con toda seguridad en las instalaciones aislando la carga conectada de la alimentación general.
- Interrupción: conectar y desconectar la carga tanto en funcionamiento normal como en paradas de emergencia.
- Protección contra cortocircuitos: tiene por objeto detectar y cortar lo más rápidamente posible las corrientes anormales superiores a 10 veces la intensidad nominal (I_n).
- Protección contra sobrecargas: detectar aumentos de corriente de hasta 10 veces la intensidad nominal y cortar la salida antes de que el calentamiento del motor y los conductores conduzca al deterioro de los aislantes.

Los motores de potencia superior a 0,75 kW están provistos de reostatos de arranque o dispositivos equivalentes según se establece en la instrucción ITC-BT 47. Los compresores disponen de un sistema de arranque propio. El evaporador incluye su propio cuadro de potencia adecuado a su consumo.

El armario se construyó en chapa laminada en frío con carriles DIN reforzados, de una sola puerta y de dimensiones 1600 mm de alto, 1200 mm de ancho y 425 mm de fondo y tiene los orificios de entrada y salida de conductores preparados para poder conectar los elementos manteniendo la estanqueidad del armario.

Los conductores verifican el Reglamento de Baja Tensión y están constituidos por conductores de cobre con aislamiento 0,6/1 KV de PVC, instalados en bandejas perforadas. Las secciones de los conductores son de 2,5 mm² para todas las líneas excepto las de los compresores que son de 50 mm² y la del evaporador que es de 95 mm² para permitir futuras ampliaciones. El evaporador incluye su propio cuadro de potencia.

VII.4.2.- SISTEMA DE SEPARACIÓN ACELERADA DE SÓLIDOS.

El proceso de separación acelerada de sólidos comienza en este caso por la separación de sólidos de mayor tamaño (desbaste) mediante un tamiz vibrador. A continuación el alpechín “desbastado” pasa a una de las líneas de floculación.

La instalación está dividida en tres líneas (línea 1, línea 2 y línea 3-4) pero existen algunos elementos de la instalación que no pueden ser agrupados en una de ellas por pertenecer a dos o tres. Estos elementos son:

- Compresor CO 1.1.
- Compresor CO 1.2.
- Bomba B 1.1.
- Bomba B 1.1r.
- Tamiz T1.

La introducción del alpechín a la parte de separación de sólidos se realiza con las bombas B1.1 si se quiere introducir en la línea 1 o 2 y con la B1.1r si es para la línea 3-4. El compresor tiene como misión proporcionar el aire comprimido necesario para el funcionamiento de las bombas. A continuación se explica el funcionamiento de la línea 1. En la figura VII-7 aparece una vista de la instalación con algunos de los elementos que se han nombrado o que se nombran a continuación.

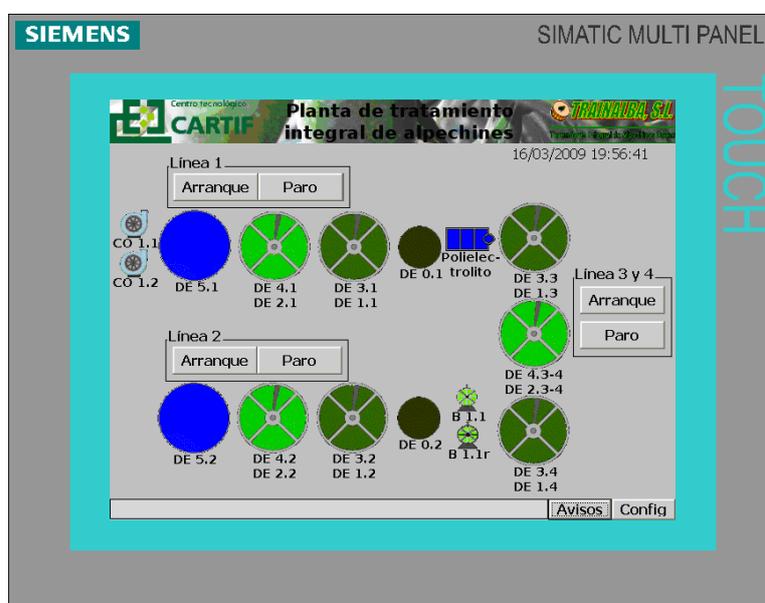


Figura VII-7: Diagrama del proceso de floculación.

Una vez que el alpechín ha pasado por el tamiz T1, los sólidos entran en el depósito DE 1.1 y el alpechín desbastado pasa al depósito DE 0.1. A continuación este alpechín se mezcla con polielectrolito utilizando de la bomba B 2.1, que impulsa el alpechín, la bomba B 3.1, que impulsa el polielectrolito hacia uno de los mezcladores cónicos. La mezcla pasa al depósito DE 3.1 donde se inicia el proceso de coagulación/floculación ayudado por el agitador AG1.1. Los sólidos que se forman más densos que el alpechín son eliminados por la parte inferior abriendo la válvula motorizada VM 1.1, mientras que los que flotan se separan hacía el depósito DE 1.1 por la parte superior mediante la rasqueta R 1.1. El líquido restante pasa al depósito DE 4.1. En este depósito continua el proceso de separación (decantación y flotación) pero sin agitación con eliminación de

sólidos pesados por la parte inferior mediante la apertura de la válvula motorizada VM 2.1, y de los ligeros por la parte superior mediante la rasqueta R 2.1 hacía el depósito DE 2.1 mientras que el alpechín sin sólidos pasa al depósito DE 5.1. Las bombas B 5.1 y B 6.1 se utilizan para la salida del subproducto sólidos desde los depósitos DE 1.1 y DE 2.1 y para realizar trasvases entre los depósitos DE 0.1, DE 1.1, DE 2.1.

El funcionamiento de la línea 2 y la línea 3-4 es similar al de la línea 1.

VII.4.2.1.- Estados del sistema.

Como se ha indicado anteriormente, el sistema de separación acelerada de sólidos de la instalación consta de tres líneas que pueden funcionar de forma independiente y de algunos elementos como bombas, compresores y tamices que son comunes a dos o más líneas. Los diferentes estados en los que puede estar esta parte de la instalación son:

DETENIDO DE CADA LÍNEA.

Los elementos pertenecientes a la línea se encuentran parados. No necesariamente están parados los elementos comunes a varias líneas como son B 1.1, B 1.1r, CO 1.1, CO 1.2 y T1.

CICLO DE FUNCIONAMIENTO.

Se activa alguna(s) de las diferentes líneas (o todas). Es posible arrancar bombas, agitadores, rasquetas, etc. de la línea correspondiente. Los elementos comunes como son la B 1.1, B 1.1r, CO 1.1, CO 1.2 y T 1 se pueden arrancar de manera independiente.

EMERGENCIA

Existen 4 setas de emergencia por línea distribuidas por la instalación en lugares de fácil acceso. En caso de emergencia será necesario pulsar alguna de las setas de emergencia correspondiente a la línea. Aun así, para mayor seguridad, al pulsar la seta de emergencia de alguna de las líneas, el resto de las líneas pasará a *estado emergencia*.

DEFECTO DE CADA LÍNEA.

Se ha producido un fallo en la línea que ha pasado a *modo defecto de línea*.

DEFECTO DE ALGÚN ELEMENTO GENERAL.

Se ha producido un fallo en algún elemento general como B 1.1, B1.1r, CO 1.1, CO 1.2 o T 1 que hace pasar al elemento en el que se ha producido el fallo a *modo defecto*.

Estos elementos que pertenecen a más de una línea, pueden ser arrancados independientemente de que alguna de las líneas esté en marcha o no. El único requisito para poder arrancarlos es no estar en *estado de emergencia*. En el caso de que alguno de los elementos comunes pase a *modo defecto*, para salir de este estado, es necesario pulsar el botón de paro asociado a ese elemento.

VII.4.2.2.- Arranque del Sistema.

Existen dos formas de actuar sobre los equipos que componen el sistema de separación acelerada de sólidos:

- mediante los *paneles de operador*.
- a través del *sistema SCADA*.

Al poner en tensión la parte de separación acelerada de sólidos pasa a *estado de emergencia*. En los paneles de operador aparece la siguiente pantalla (figura VII-8):



Figura VII-8: Pantalla de arranque en Panel de operador.

y en el sistema SCADA (figura VII-9):



Figura VII-9: Pantalla de arranque en SCADA.

Para salir del *modo emergencia* es preciso desenclavar las setas de emergencia que estén pulsadas y pulsar el botón de *rearme* del pupitre de mando. Los indicadores luminosos del pupitre de mando corresponden con las siguientes especificaciones (figura VII-10):

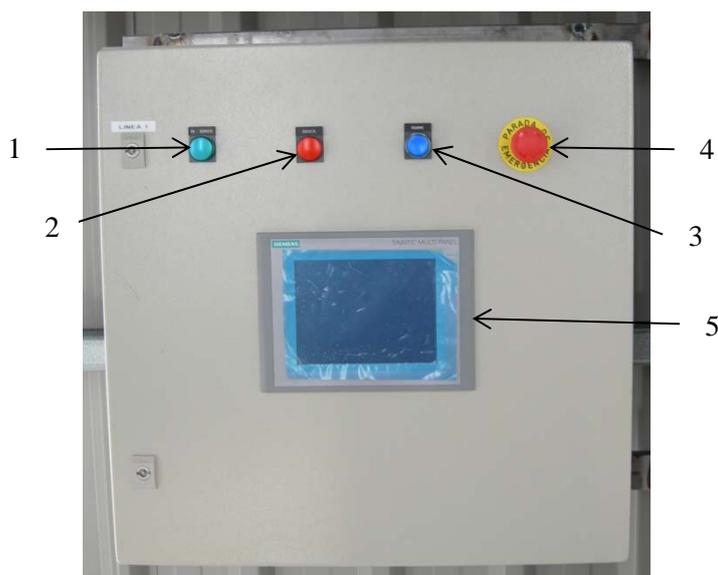


Figura VII-10: Indicadores del pupitre de mando.

- 1: Indicador luminoso de línea en servicio.
- 2: Indicador luminoso de línea en fallo.
- 3: Pulsador/Indicador luminoso de rearme.
- 4: Seta de emergencia.
- 5: Panel de operador.

La instalación pasará a *estado de detenido* en todas las líneas. Aparece la pantalla principal en los paneles de operador que corresponde con la figura VII-7, y en el sistema SCADA la correspondiente a la figura VII-11:

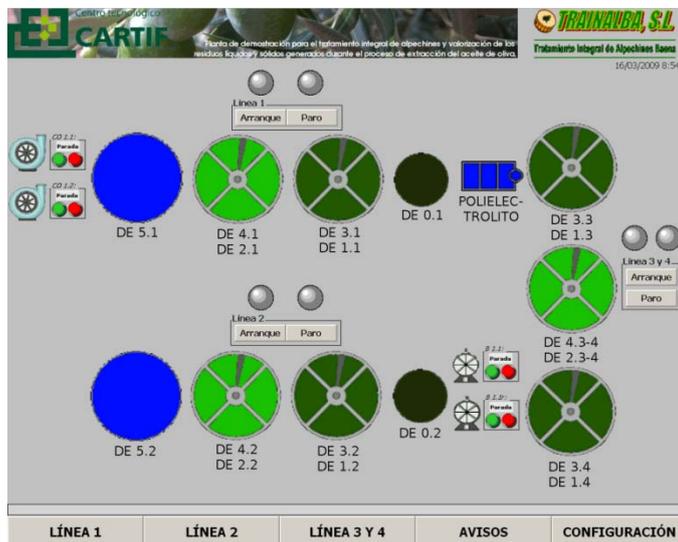


Figura VII-11: Pantalla inicial en SCADA.

INDICADORES LUMINOSOS.

En la tabla VII-2 se indica el estado en que se encuentran las diferentes líneas en función del indicador luminoso de sistema en servicio y del indicador luminoso de fallo.

Tabla VII-2: Estado en función del indicador luminoso.

Servicio (Verde)	Fallo (Rojo)	Estado de la línea
Apagado	Apagado	Línea en <i>estado detenido</i> .
Encendido	Apagado	Línea arrancada.
Apagado	Parpadeo	Línea en estado de defecto (defecto en alguno de los elementos de la línea, no en los comunes).
Apagado	Encendido	Se ha producido la pulsación de alguna de las setas de emergencia, y las líneas se encuentran en <i>estado de emergencia</i> . El pulsador luminoso azul de rearme se enciende.

Fuente: Elaboración propia.

Quitando los elementos comunes anteriormente mencionados, el resto de los elementos de la instalación pertenecen a una línea en concreto y sólo es posible su arranque cuando la línea está arrancada, es decir, el indicador luminoso de servicio (verde) encendido y el de fallo (rojo) apagado.

Para el arranque de la línea (deben estar los indicadores luminosos verde y rojo apagados) sólo es necesario pulsar el botón de arranque asociado a la línea. Si el arranque se realiza correctamente, el indicador luminoso verde se encenderá mientras que el indicador de fallo permanecerá apagado. Una vez arrancada la línea es posible arrancar los diferentes elementos de la misma.

A continuación se describen las dos formas de trabajo, dependiendo si se actúa desde un panel de operador o directamente desde el SCADA.

VII.4.2.3.- Funcionamiento desde Panel de Operador.

Mediante los paneles de operador se manejan las líneas de separación acelerada de sólidos de la instalación. Los únicos pulsadores adicionales necesarios son las setas de emergencia, para realizar una parada de emergencia, y el pulsador de rearme, para salir del estado de emergencia.

Mediante los indicadores luminosos de los pupitres de mando se muestra el estado de la instalación, y en los paneles de operador se muestra una información más detallada de dicho estado, así como avisos de fallos y las causas que han hecho que la instalación haya pasado a estado de defecto.

MANEJO.

Se trata de un panel de operador táctil, por lo que la elección entre las diversas opciones permitidas se realiza pulsando con el dedo sobre el panel.

La *Pantalla Principal* del panel de operador, que se muestra en la figura VII-12, refleja la situación en planta de cada uno de los elementos principales de la instalación.

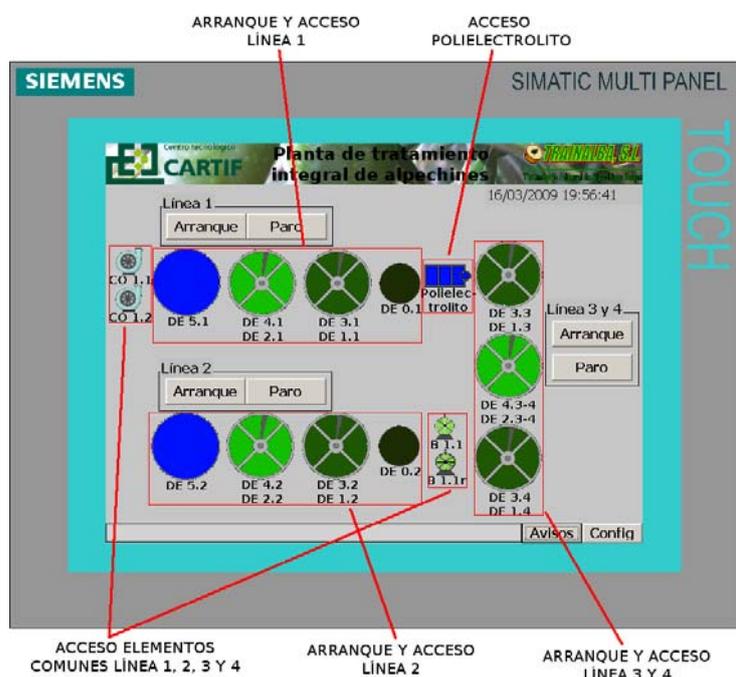


Figura VII-12: Pantalla principal en Panel de operador.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Acceso a las diferentes partes de la instalación al pulsar en las diferentes zonas de la imagen. La instalación está dividida en las siguientes zonas:
 - Elementos comunes a toda la instalación, es decir, el compresor CO 1.1, el compresor CO 1.2, la bomba B 1.1 y la bomba B 1.1r.
 - Estación de polielectrolito con las bombas/mezcladores asociados para la mezcla del alpechín con polielectrolito para cada una de las líneas.
 - Acceso a los elementos de la línea 1 (excepto los correspondientes a la línea 1 que se encuentran en la estación de polielectrolito).
 - Acceso a los elementos de la línea 2 (excepto los correspondientes a la línea 2 que se encuentran en la estación de polielectrolito).
 - Acceso a los elementos de la línea 3-4 (excepto los correspondientes a la línea 3-4 que se encuentran en la estación de polielectrolito).
- Arranque/Parada de cada una de las líneas.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla de configuración.

Al pulsar sobre los depósitos de la línea 1 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 1* (figura VII-13).

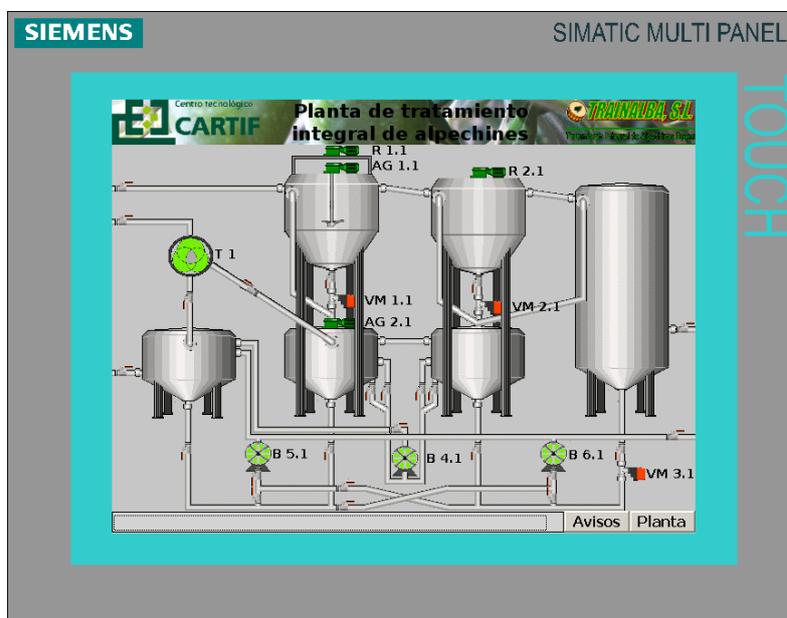


Figura VII-13: Pantalla de la Línea 1 en Panel de operador.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada del tamiz T1 (es un elemento común), bombas B 5.1, B 4.1, B 6.1, agitadores AG 1.1, AG 2.1, rasquetas R 1.1, R 2.1 y válvulas motorizadas VM 1.1, VM 2.1 y VM 3.1.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla principal.

Una vez arrancada la línea, para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, es necesario ir a la pantalla donde se encuentra el elemento y pulsar sobre él. En este momento se abre una nueva pantalla con los pulsadores de arranque/parada o apertura/cierre del elemento seleccionado. En la figura VII-14 se ve un ejemplo para el caso de la válvula VM 1.1.

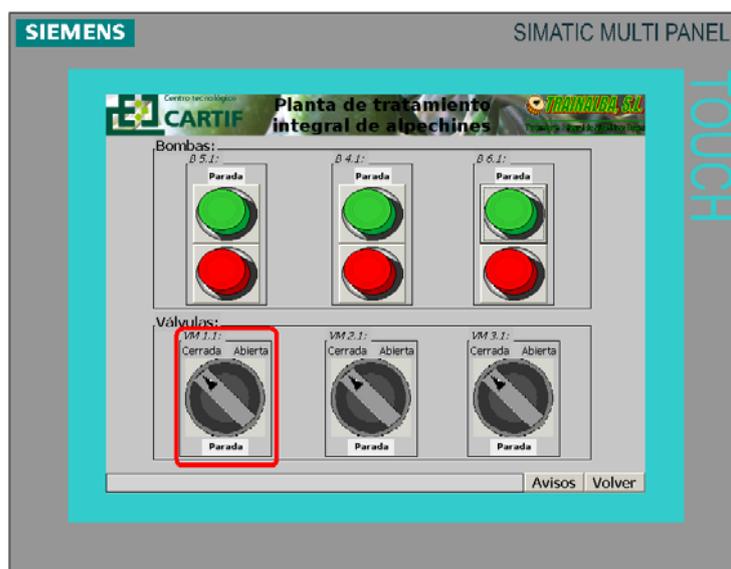


Figura VII-14: Pantalla de pulsadores línea 1 en Panel de operador.

Al pulsar sobre los depósitos de la línea 2 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 2*, que es similar a la pantalla de la línea 1, pero cambiando la nomenclatura de los elementos sobre los que se puede actuar.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada del tamiz T1 (es un elemento común), bombas B 5.2, B 4.2, B 6.2, agitadores AG 1.2, AG 2.2, rasquetas R 1.2, R 2.2 y válvulas motorizadas VM 1.2, VM 2.2 y VM 3.2.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla principal.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1.

Al pulsar sobre los depósitos de la línea 3-4 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 3-4* (figura VII-15).

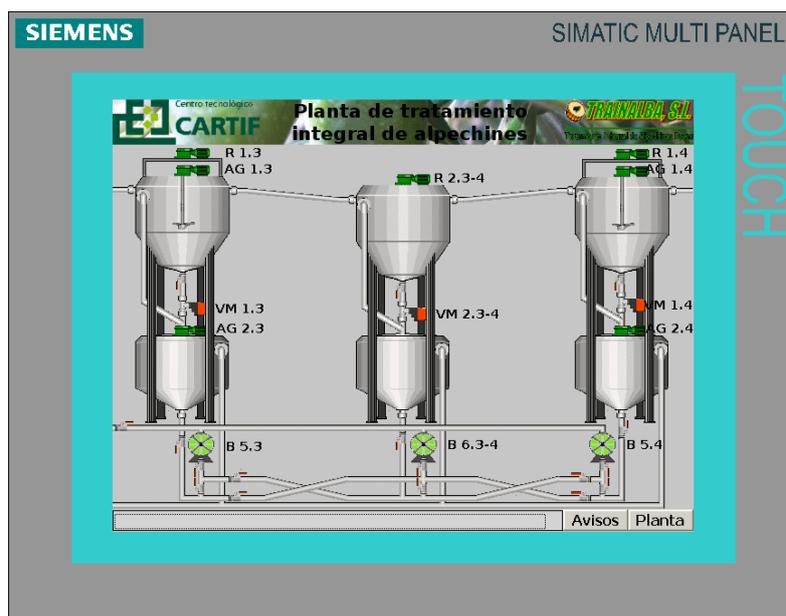


Figura VII-15: Pantalla de la línea 3-4 en Panel de operador.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada de bombas B 5.3, B 5.4, B 6.3-4, agitadores AG 1.3, AG 2.3, AG 1.4, AG 2.4, rasquetas R 1.3, R 1.3, R 2.3-4 y válvulas motorizadas VM 1.2, VM 2.2 y VM 3.2.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla principal.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1.

Al pulsar sobre los elementos comunes de la pantalla principal se accede (figura VII-16) a la *Pantalla de elementos comunes*.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada de las bombas B 1.1, B 1.1r y de los compresores CO 1.1, CO 1.2. Todos ellos son elementos comunes a las líneas 1, 2 y 3-4
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla principal.

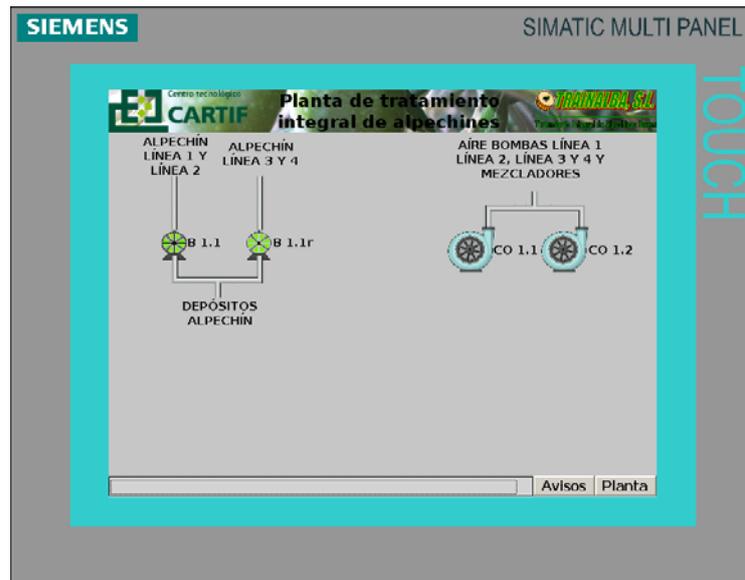


Figura VII-16: Pantalla de elementos comunes en Panel de operador.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1.

Al pulsar sobre la estación de polielectrolito de la pantalla principal se accede a la *Pantalla de polielectrolito* (figura VII-17).

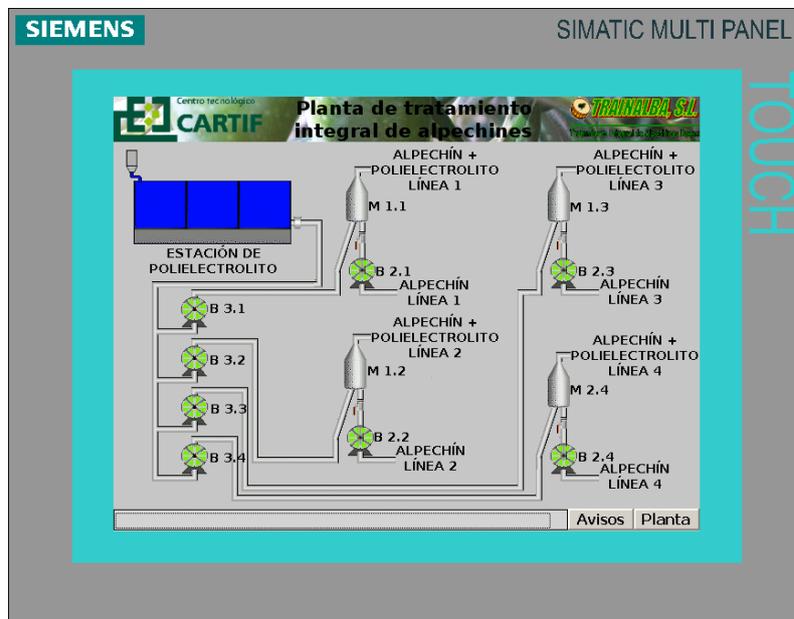


Figura VII-17: Pantalla de polielectrolito en Panel de operador.

Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada de las bombas B 2.1, B 2.2, B 2.3, B 2.4, B 3.1, B 3.2, B 3.3, B3.4 y de los mezcladores M 1.1, M 1.2, M 1.3 y M 1.4.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla principal.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1.

Además de las pantallas anteriores, los paneles de operador tienen las pantallas siguientes:

- Pantalla de avisos.
- Pantalla de emergencia.
- Pantalla de configuración.

VII.4.2.4.- Funcionamiento sistema SCADA.

Mediante el sistema SCADA se puede manejar las líneas de separación acelerada de sólidos de la instalación menos los modos manual general y de cada línea. Los únicos pulsadores adicionales necesarios son las setas de emergencia para realizar una parada de emergencia de las líneas, y el pulsador de rearme, para salir del estado de emergencia.

MANEJO.

El software instalado se ejecuta bajo entorno Windows, por lo que la elección entre las diversas opciones que permite el sistema SCADA se realiza de manera similar a cualquier otra aplicación en dicho entorno.

La *Pantalla Principal* del sistema SCADA, que ya se mostró en la figura VII-10, refleja la situación en planta de cada uno de los elementos principales de la instalación. Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada de los elementos comunes a todas las líneas.
- Arranque/Parada de cada una de las líneas. Visualización de su estado mediante el indicador luminoso de servicio (verde) y de fallo (rojo).
- Acceso a la pantalla de la línea 1.
- Acceso a la pantalla de la línea 2.
- Acceso a la pantalla de la línea 3-4.

- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla de configuración.

Pulsando el botón de la línea 1 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 1* (figura VII-17). Esta pantalla permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada del tamiz T1(elemento común), bombas B 2.1, B3.1, B 4.1, B 5.1, B 6.1, agitadores AG 1.1, AG 2.1, rasquetas R 1.1, R 2.1, mezclador M 1.1 y válvulas motorizadas VM 1.1, VM 2.1 y VM 3.1.
- Acceso a la pantalla principal.
- Acceso a la pantalla de la línea 2.
- Acceso a la pantalla de la línea 3-4
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla de configuración.

Una vez arrancada la línea, para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, es necesario ir a la pantalla donde se encuentra el elemento y utilizar los pulsadores que se encuentran a su lado para su arranque/parada o apertura/cierre del accionamiento. En la figura VII-18 se ve un ejemplo para la válvula VM 1.1.

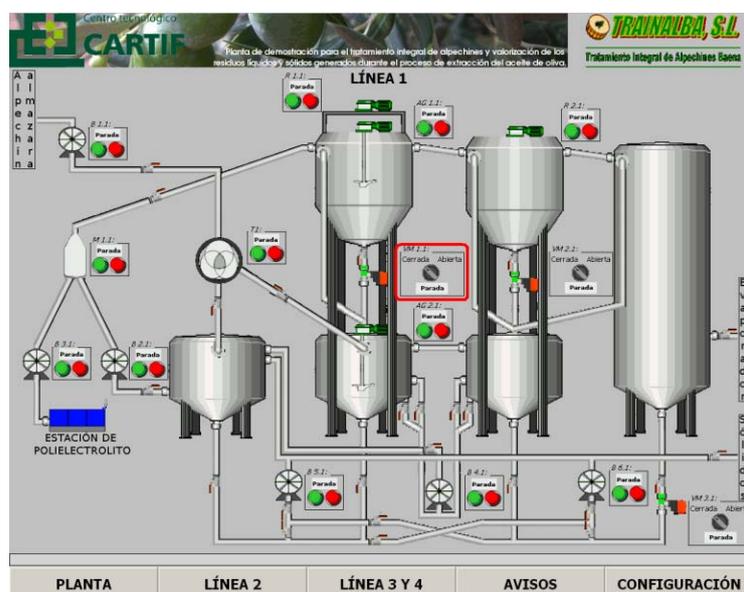


Figura VII-18: Pantalla de la línea 1 y detalle del pulsador para la Válvula VM 1 en SCADA.

Pulsando el botón de la línea 2 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 2*. Esta pantalla, que es similar a la pantalla de la línea 1, pero cambiando la nomenclatura de los elementos sobre los que se puede actuar, permite realizar las siguientes funciones:

- Arranque/Parada del tamiz T1(elemento común), bombas B 2.2, B3.2, B 4.2, B 5.2, B 6.2, agitadores AG 1.2, AG 2.2, rasquetas R 1.2, R 2.2, mezclador M 1.2 y válvulas motorizadas VM 1.2, VM 2.2 y VM 3.2.
- Acceso a la pantalla principal.
- Acceso a la pantalla de la línea 1.
- Acceso a la pantalla de la línea 3-4
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla de configuración.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1

Pulsando el botón de la línea 3-4 de la pantalla principal se accede a la *Pantalla Línea 3-4*. Esta pantalla (figura VII-19) permite realizar las siguientes funciones:

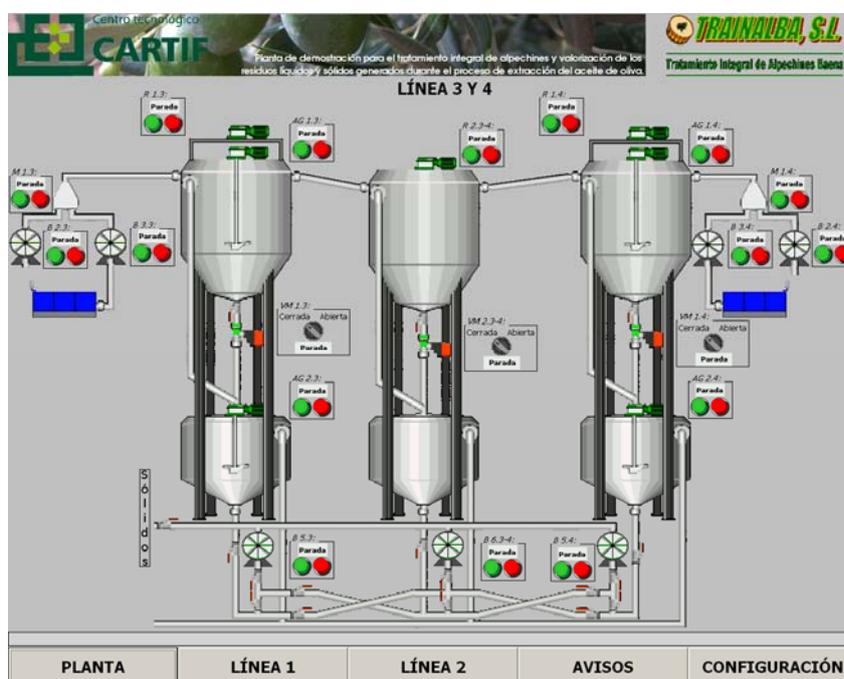


Figura VII-19: Pantalla de la línea 3-4 en SCADA.

- Arranque/Parada de las bombas B 2.3, B3.3, B 2.4, B 3.4, B 5.3, B 5.4, B 6.3-4, agitadores AG 1.3, AG 2.3, AG 1.4, AG 2.4, rasquetas R 1.3, R 1.4, R 2.3-4 mezcladores M 1.3, M 1.4 y válvulas motorizadas VM 1.3, VM 1.4 y VM 2.3-4.
- Acceso a la pantalla principal.
- Acceso a la pantalla de la línea 1.
- Acceso a la pantalla de la línea 2.
- Acceso a la pantalla de avisos. Además, en la parte inferior dispone de una línea donde se van mostrando los fallos que se producen.
- Acceso a la pantalla de configuración.

Para realizar el arranque/parada o apertura/cierre de un accionamiento concreto, se procede del mismo modo que se explicó para la válvula VM 1.1.

Además de las pantallas anteriores, los paneles de operador tienen las pantallas siguientes:

- Pantalla de avisos.
- Pantalla de emergencia.
- Pantalla de configuración.

VII.4.2.5.- Modos de accionamiento.

En función del tipo de accionamiento a arrancar/parar o abrir/cerrar los pulsadores son diferentes. Los elementos de la instalación se agrupan en tres tipos: motores (tamices, rasquetas, agitadores, mezcladores, compresores), bombas (bombas neumáticas) y válvulas (válvulas motorizadas). Para los diferentes casos de accionamiento los pulsadores que permiten su arranque/parada o apertura/cierre son los siguientes:

- Motores: Dispone de un pulsador verde para el arranque del motor, un pulsador rojo para la parada del mismo y un indicador de texto con el estado del motor (figura VII-20).



Figura VII-20: Pulsadores para los motores.

Los estados posibles del motor son: *parada* (blanco), *marcha* (verde) y *fallo* (rojo), que queda reflejado en el caso del SCADA (figura VII-21) en su apariencia en el sinóptico de la instalación mediante los mismos colores que los utilizados en el indicador de texto de su estado.



Figura VII-21: Sinóptico del estado de un motor en el sistema SCADA.

- Bombas: Dispone de un pulsador verde para el arranque de la bomba, un pulsador rojo para la parada de la misma y un indicador de texto con el estado de la bomba (figura VII-22).



Figura VII-22: Pulsadores para las bombas neumáticas.

Los estados posibles de la bomba son: *parada* (blanco) y *marcha* (verde), que queda reflejado en el caso del SCADA (figura VII-23) en su apariencia en el sinóptico de la instalación mediante los mismos colores que los utilizados en el indicador de texto de su estado.



Figura VII-23: Sinóptico del estado de una bomba neumática en el sistema SCADA.

- Válvulas motorizadas: Dispone de un selector para la apertura (selector a la derecha) y cierre (selector a la izquierda) de la válvula motorizada (figura VII-24). El indicador de texto inferior muestra el estado de la válvula. Los indicadores superiores (cerrada, abierta) corresponden a los finales de carrera de la válvula cerrada y la válvula abierta. Cuando alguno de los finales está activo el indicador de texto superior correspondiente se ilumina en verde.



Figura VII-24: Selector de apertura-cierre para una válvula motorizada.

Los estados posibles de la válvula son: *parada* (blanco), *abriendo* (verde), *cerrando* (verde) y *fallo* (rojo), que queda reflejado en el caso del SCADA (figura VII-25) en su apariencia en el sinóptico de la instalación mediante los mismos colores que los utilizados en el indicador de texto de su estado.



Figura VII-25: Sinóptico del estado de una válvula motorizada en el sistema SCADA.

VII.4.2.6.- Situación de emergencia.

Durante el funcionamiento de la instalación se pueden producir situaciones de peligro que hacen necesaria la pulsación de alguna de las setas de emergencia. Esto hace que la instalación pase a *estado de emergencia*, interrumpiéndose el funcionamiento de todos los elementos (los de las líneas y los comunes).

En la pantalla correspondiente, la luz de servicio (verde) está apagada y la luz de fallo (roja) se enciende, apareciendo la pantalla de emergencia.

Para que la instalación salga del estado de emergencia hay que desenclavar las setas de emergencia que estén pulsadas y pulsar el botón de rearme del pupitre de mando. La instalación pasa a *estado detenido*.

VII.4.2.7.- Situación de defecto.

Durante el funcionamiento de la instalación se puede producir un defecto en la misma, que se refleja como *defecto en la línea* a la que pertenece el elemento que ha producido el defecto, o únicamente como *defecto del elemento* en el caso de tratarse de un elemento común. En la instalación, la *luz de ciclo* (verde) está apagada y la *luz de fallo* (roja) parpadea. En el caso de los elementos comunes únicamente aparece un indicador de fallo sobre el elemento. En la pantalla de avisos se ve la causa por la que se ha producido el defecto.

Si se pulsa el botón *parar* de la línea en la que se ha producido el defecto, la línea pasa a *modo detenido* pudiendo eliminarse el defecto. En el caso de haberse producido un defecto de un elemento común, será necesario pulsar el botón *parar* del elemento que se encuentra en fallo pasando a *modo detenido*.

VII.4.3.- VISUALIZACIÓN DE AVISOS.

Todas las pantallas, tanto las de los paneles de operador como las del sistema SCADA, tienen en su parte inferior una línea donde se muestra el último aviso que se ha producido. Si no ha habido ninguno, la línea permanece en blanco. Además, existe un *botón avisos*. Si se pulsa dicho botón se pasa a la *pantalla de avisos*, (figura VII-26), donde se obtiene información más detallada sobre los avisos producidos.

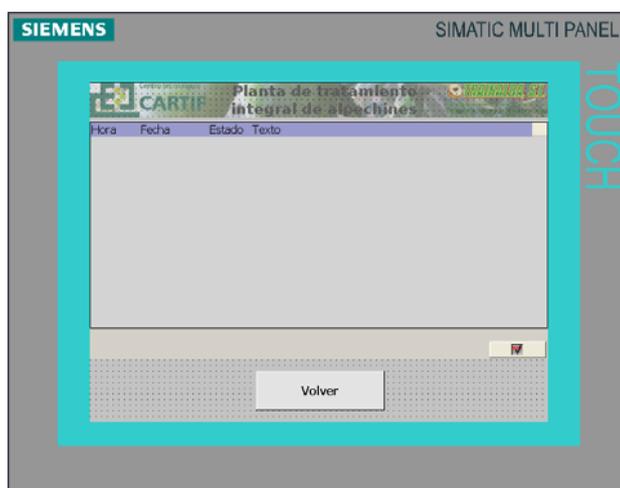


Figura VII-26: Pantalla de avisos.

En esta pantalla se muestran cuatro columnas:

- Fecha a la que se ha producido el aviso.
- Hora a la que se ha producido el aviso.
- Estado del aviso:
 - E: aviso activo y no reconocido.
 - EA: aviso activo y reconocido.
 - ES: aviso ya inactivo pero no reconocido.
- Texto del aviso.

Los botones que se muestran en la pantalla tienen la siguiente función:

- : Desplazar la selección un aviso hacia arriba.

- : Desplazar la selección una página de avisos hacia arriba.
- : Desplazar la selección un aviso hacia abajo.
- : Desplazar la selección una página de avisos hacia abajo.
- : Muestra todo el texto del aviso seleccionado.
- : Reconoce el aviso seleccionado.
- Volver: vuelve a la pantalla anterior.

Para que un aviso desaparezca, tiene que estar inactivo, es decir, haber desaparecido la causa que lo ha producido, y además, haber sido reconocido, mediante el botón .

VII.4.3.1.- Lista de avisos

A continuación se detallan los distintos mensajes de aviso que se pueden producir y las soluciones más comunes:

COMPRESORES.

Aviso 9.1 Fallo compresor CO1.1 (común).

Aviso 9.2 Fallo compresor CO1.2 (común)

Causa: Se ha intentado arrancar uno de los compresores mediante su contactor y la señal de compresor arrancado no se ha activado.

Solución: Revisar que la protección del compresor correspondiente este armada y que el contactor entra al dar la señal de arranque. Si esto está correcto revisar que la señal que llega al PLC de protección-contactor cerrados sea correcta.

TAMICES.

Aviso 9.3 Fallo tamiz T1 (común)

Aviso 9.4 Fallo tamiz T2 (común)

Causa: Se ha intentado arrancar uno de los tamices mediante su contactor y la señal correspondiente de tamiz arrancado no se ha activado.

Solución: Revisar que la protección del tamiz correspondiente este armada y que el contactor entra al dar la señal de arranque. Si esto está correcto revisar que la señal que llega al PLC de protección-contactor cerrados sea correcta.

RASQUETAS.

Aviso 9.5	Fallo rasqueta R1.1.
Aviso 9.6	Fallo rasqueta R1.2.
Aviso 9.7	Fallo rasqueta R1.3.
Aviso 9.8	Fallo rasqueta R1.4.
Aviso 9.9	Fallo rasqueta R2.1.
Aviso 9.10	Fallo rasqueta R2.2.
Aviso 9.11	Fallo rasqueta R2.3-4.

Causa: Se ha intentado arrancar una de las rasquetas mediante su contactor y la señal de la rasqueta arrancada no se ha activado.

Solución: Revisar que la protección de la rasqueta correspondiente este armada y que el contactor entra al dar la señal de arranque. Si esto está correcto revisar que la señal que llega al PLC de protección-contactor cerrados sea correcta.

AGITADORES.

Aviso 9.12	Fallo agitador AG1.1.
Aviso 9.13	Fallo agitador AG1.2.
Aviso 9.14	Fallo agitador AG1.3.
Aviso 9.15	Fallo agitador AG1.4.
Aviso 9.16	Fallo agitador AG2.1.
Aviso 9.17	Fallo agitador AG2.2.
Aviso 9.18	Fallo agitador AG2.3.
Aviso 9.19	Fallo agitador AG2.4.

Causa: Se ha intentado arrancar uno de los agitadores mediante su contactor y la señal de agitador arrancado no se ha activado.

Solución: Revisar que la protección del agitador correspondiente este armada y que el contactor entra al dar la señal de arranque. Si esto está correcto revisar que la señal que llega al PLC de protección-contactor cerrados sea correcta.

VÁLVULAS MOTORIZADAS.

Aviso 9.20	Fallo válvula motorizada VM1.1.
Aviso 9.21	Fallo válvula motorizada VM1.2.
Aviso 9.22	Fallo válvula motorizada VM1.3.
Aviso 9.23	Fallo válvula motorizada VM1.4.
Aviso 9.24	Fallo válvula motorizada VM2.1.
Aviso 9.25	Fallo válvula motorizada VM2.2.

Aviso 9.26 Fallo válvula motorizada VM2.3-4.

Aviso 9.27 Fallo válvula motorizada VM3.1.

Aviso 9.28 Fallo válvula motorizada VM3.2.

Causa: Se ha intentado abrir o cerrar una de las válvulas motorizadas y no ha dado la señal de que la válvula motorizada se haya abierto/cerrado.

Solución: Revisar que al dar señal de apertura/cierre la válvula correspondiente se mueve y si se mueve comprobar que abre/cierre completamente y los finales de carrera de apertura/cierre completo se activen.

EMERGENCIA.

Aviso 9.29 Emergencia.

Causa: Se ha pulsado alguna de las setas de emergencia de la máquina, o se acaba de poner en tensión la instalación.

Solución: Revisar que se haya subsanado lo que ha provocado pulsar la seta, desenclavarla y rearmar la línea a la que pertenece la seta de emergencia. En el caso de que se acabe de poner en tensión, comprobar que todo este correcto, desenclavar todas las setas y rearmar los tres módulos de seguridad.

VII.5.- SISTEMA DE EVAPORACIÓN.

La instalación y puesta en marcha se realizó en la propia instalación y se llevó a cabo entre operarios de la empresa suministradora ALFA-LAVAL y personal de la Fundación CARTIF y TRAINALBA, S.L. A continuación se describe la forma de operación de este equipo.

VII.5.1.- PROCEDIMIENTO DE ARRANQUE.

Para proceder al arranque del evaporador hay que seguir los siguientes pasos:

- Encender el cuadro eléctrico (panel de control).
- En la pantalla *AlfaVap*, comprobar que el punto de consigna (SP) de la bomba de alimentación es 75%.
- En la pantalla *MVR*, comprobar que el punto de consigna (SP) del compresor MVR es 97%.
- En la pantalla *Punto de Consigna/Setpoint*, comprobar el tiempo y el punto de consigna (SP) para:

- En la pantalla *AlfaVap*, presionar el botón de vaciado.
- Cuando todo el producto ha sido vaciado de la evaporadora, hacer un aclarado de la instalación (aclarado).

VII.5.3.- PROCEDIMIENTO DE ACLARADO.

Para realizar el aclarado del evaporador hay que seguir los siguientes pasos:

- Abrir la válvula de alimentación desde el depósito de condensados.
- Redirigir el concentrado al depósito de alimentación.
- En la pantalla de *Punto de Consigna/Setpoint*, cambiar DIC01 CIP a (-40.00).
- En la pantalla *AlfaVap*, arrancar la bomba de alimentación 100%.
- En la pantalla *AlfaVap*, presionar el botón de *Aclarado*.

VII.5.4.- PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA.

Para realizar la limpieza del evaporador hay que seguir los siguientes pasos:

- Encender el cuadro eléctrico.
- En la pantalla *AlfaVap*, comprobar que el punto de consigna (SP) de la bomba de alimentación es 100%.
- En la pantalla *MVR*, comprobar que el punto de consigna (SP) del compresor es 97%.
- En la pantalla *Punto de Consigna/Set point*, comprobar los tiempos y los puntos de consigna CIP para:

➤ Drenaje	40 s.
➤ Llenado	300 s.
➤ Calentamiento	1.200 s.
➤ Vaciado	300 s.
➤ Drenaje aclarado	40 s.
➤ Llenado aclarado	300 s.
➤ Aclarado	1.200 s.
➤ CIP run	3600 s.
✓ LIC01 CIP	25.00.
✓ PIC01 CIP	-0.82.
✓ PIC02 CIP	-0.75.
✓ DIC01 EMPTY	-99.00.
✓ DIC01 CIP	0.00.

- En la pantalla *Alarmas*, comprobar si hay alarmas. Si hay alguna, corregir el error.
- Comprobar todas las válvulas manuales:
 - agua de sellos abierta.
 - agua para el depósito de condensados (calderín) abierta.
 - agua de refrigeración para la bomba de vacío abierta.
 - aire en la bomba de vacío cerrada.
 - retornar condensados al depósito de limpieza válvula correspondiente abierta.
 - retorno de producto cerrada.
 - retornar el concentrado al depósito de limpieza válvula correspondiente abierta.
 - agua de saturación del MVR abierta.
 - vacío al MVR abierta.
 - agua de salida del agua de saturación del MVR abierta.
 - alimentación de producto cerrada.
- En la pantalla *AlfaVap*, presionar el botón de CIP.
- Cuando la bomba de recirculación esté en marcha, ir a la pantalla *AlfaVap* y comprobar que el flujo es (10.000 - 12.000).
- Cuando empiece la evaporación, ir a la pantalla *Set Point* y cambiar DIC01 CIP a (-20.0).

Cuando el tiempo de CIP se acabe, el evaporador se vaciará. Cuando se haya terminado de vaciar:

- Cerrar la válvula de alimentación del depósito de limpieza.
- Abrir la válvula de alimentación desde el depósito de agua.
- Enviar el concentrado al drenaje.
- Retornar los condensados al depósito de condensados.
- Mantener el agua de refrigeración para la bomba de vacío abierta.
- En la pantalla *Punto de Consigna/Set Point*, cambiar DIC01 CIP a (-40.0).
- En la pantalla *AlfaVap*, presionar el botón aclarado.

Cuando el aclarado ha terminado, la limpieza ha acabado.

Si el evaporador no se va a utilizar durante 1-2 semanas tras la limpieza con ácido, se recomienda realizar una limpieza corta con una solución cáustica débil para neutralizar los restos de ácido.

VII.5.5.- ENSAYOS DE EVAPORACIÓN 24 HORAS.

Se realizaron dos ensayos para el prototipo de evaporación de 24 horas de duración. La magnitud que regula las descargas de concentrado es la densidad, cuyo valor se visualiza en el armario de control del evaporador. En la tabla VII-3 se observa los valores de la densidad correspondientes a uno de los ensayos. El equipo se arrancó a las 09:45 y comenzó a producir condensado a las 11:10.

La primera descarga de concentrado se produce a las 18:20, siendo la segunda a las 19:30. Entre las 19:50 y 20:20 se producen 4 pequeñas descargas, de forma que el valor de la densidad no baje de 1.096.

Tabla VII-3: Densidad del concentrado en evaporador.

Hora	Densidad (kg/m3)
11:10	996
12:57	1.036
14:40	1.061
16:10	1.075
17:40	1.093
18:20	1.102
19:20	1.096
20:20	1.099
21:00	1.093
22:00	1.096
23:00	1.095
00:00	1.098
01:20	1.093
02:20	1.096
03:20	1.098
04:20	1.100
05:20	1.098
07:20	1.083
08:00	1.092

Fuente: Elaboración propia.

A las 20:40 se produce una bajada en el rendimiento debido a un aumento de presión en el evaporador por lo que la bomba de vacío funcionó al 100% y se suspendió la entrada de alpechín hasta las 21:00. Veinte minutos después la bomba de vacío trabaja al 50%.

La siguiente descarga se produce a las 22:20 después de alcanzar la densidad un valor de 1.102. Hasta las 23:40 no se produce la siguiente y a partir de este momento en el equipo se produce descargas cada 90-100 minutos.

En la tabla VII-4 se refleja el valor del caudal evaporado por el equipo, calculado midiendo la altura de agua condensada entre dos intervalos temporales. Como puede observarse los valores máximos corresponden al principio del ensayo, produciéndose alteraciones a partir de la bajada de rendimiento. Al no conseguir el caudal para el que estaba diseñado, se consultó con los expertos de la empresa suministradora ALFA-LAVAL, S.A., y después de una reunión con ellos, se tomó la decisión de realizar las siguientes tareas para poner a punto el equipo de evaporación:

Tabla VII-4: Caudal de evaporación.

Hora	Caudal (L/h)
13:26	1.131
14:28	1.024
15:35	970
16:44	890
17:51	862
19:08	849
20:40	848
22:08	905
23:21	862
00:46	610
02:31	787
04:20	785
06:00	862
07:18	987

Fuente: Elaboración propia.

- Aislar térmicamente el equipo de evaporación, para que no existan pérdidas de temperatura.
- Instalar una bomba de presión en el equipo para mantener suficiente presión en el cierre de las bombas.

- Instalar contadores en todo el proceso de tratamiento. También incluido el proceso de floculación.
- Instalar un elemento descalcificador para el agua de sello y de entrada de los calentadores.
- Aumentar el área de precalentamiento del líquido entrante al prototipo en 6 placas, para así aumentar la capacidad de evaporación.

Una vez efectuadas las modificaciones reseñadas, se realizaron nuevas pruebas cuyos resultados se observan en la gráfica correspondiente a la figura VII-26.

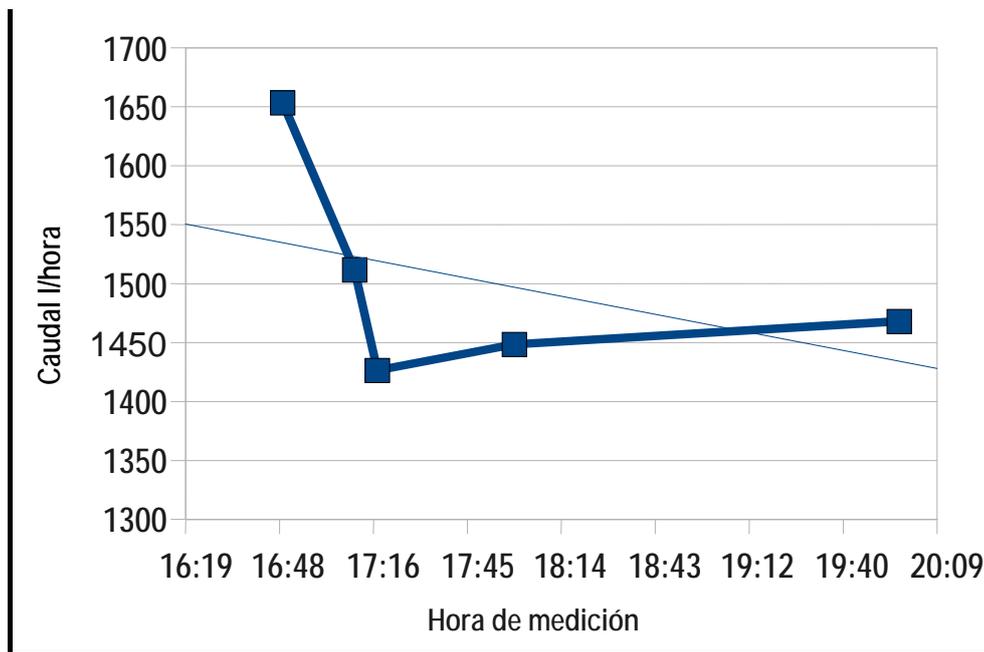


Figura VII-27: Caudal evaporado después de modificaciones.

La mejoría en el rendimiento del equipo acerca los datos al diseño que se realizó desde el principio.

**VIII.- CONCLUSIONES Y LÍNEAS
FUTURAS.**

VIII.1.- INTRODUCCIÓN.

En este último capítulo se exponen las conclusiones más importantes del trabajo realizado. A continuación se incluye una sección dedicada a futuros trabajos que constituirán una prolongación del trabajo de I+D+I de la presente Tesis Doctoral.

VIII.2.- CONCLUSIONES.

El trabajo de Tesis presentado pone de manifiesto que el sistema propuesto de tratamiento integral y de valorización de los residuos generados en una almazara, es capaz de complementar los sistemas de obtención de aceite de oliva virgen de 2 y 3 fases, logrando convertir los residuos generados (sólidos y líquidos) en subproductos.

En base a los objetivos planteados en este trabajo de Tesis, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

Del trabajo de laboratorio y del funcionamiento de la planta móvil.

- El floculante que mejores resultados ofrece para ser utilizado con alpechín es el ZETAG-50.
- La concentración del floculante ZETAG-50 más favorable es de 700 ppm.
- La neutralización previa del alpechín, aun disminuyendo el consumo de floculante, no produce flóculos suficientemente estables para que el proceso de filtración se lleve a cabo en filtro prensa. El tamaño del flóculo formado es pequeño y dificulta la filtración por el taponamiento de las telas de filtración.
- La adición de sulfato de aluminio como coagulante tampoco ofrece los resultados esperados a partir de las pruebas de laboratorio. Utilizando uno de los mezcladores en línea para favorecer la mezcla alpechín - sulfato de aluminio, la disminución del consumo de floculante es muy poco significativa en la mayoría de los casos, por lo que se desestima esta posibilidad en la planta industrial.
- La implantación a nivel industrial del proceso de separación de sólidos utilizando técnicas de ultrasonidos no es recomendable por varios motivos: el ahorro en reactivos químicos no compensa el coste económico del sistema, las dificultades técnicas del mismo y por la incertidumbre de su funcionamiento a escala industrial.

En la experimentación de la planta industrial de Sotoserrano, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El diseño del evaporador garantiza períodos de funcionamiento sin paradas de al menos 1.500 h. Dado que la almazara funciona unos 50 días al año, la limpieza del equipo sólo sería necesaria una vez por campaña, aprovechando las etapas de inactividad de la almazara.
- La separación acelerada de sólidos del alpechín, antes de introducirlo en el evaporador, implica que no sean necesarias altas temperaturas de evaporación, permitiendo al equipo operar a presión atmosférica.
- La energía del vapor generado en el proceso de depuración se utiliza, además de para precalentar el alpechín sin sólidos procedente de la separación acelerada, para otras necesidades y servicios energéticos de la almazara.
- Para garantizar la rentabilidad económica de la planta, es necesario encontrar salida al exceso de vapor generado.
- El sistema de tratamiento integral de alpechines que se utiliza, permite recuperar del alpechín agua condensada, parte del aceite ocluido en el alpechín y fango de alpechín con el que se puede producir compostaje.

A partir de las pruebas realizadas en la planta de demostración construida en Baena (proyecto LIFE), se extrajeron las siguientes conclusiones:

- La versatilidad de la planta permite tratar todos los residuos que se generan en una almazara, tanto sólidos como líquidos.
- El prototipo de evaporador funcionó correctamente durante los ensayos realizados una vez llevadas a cabo las modificaciones propuestas (descritas en el capítulo VII), obteniéndose agua utilizable en el equipo de preparación de polielectrolito o para riego.
- El sistema de regulación de la planta ha funcionado perfectamente, tanto desde los Paneles de operador como desde el sistema SCADA. Presenta la ventaja adicional del denominado TELESERVICIO, que a través de la red telefónica conmutada, proporciona acceso remoto a la instalación, pudiendo modificar el programa sin tener que desplazarse los técnicos especialistas a la planta.
- El coste de mano de obra necesaria para el correcto funcionamiento de la planta es superior al correspondiente a la planta de Sotoserrano.

VIII.3.- LÍNEAS FUTURAS.

Con el fin de estudiar el coste económico real del proceso de tratamiento integral y de valorización de los residuos generados en una almazara a nivel industrial, sería conveniente sustituir el evaporador de 1.500 L/h de la planta de demostración construida en Baena, proyecto LIFE, por otro con una capacidad de tratamiento del sistema de separación acelerada de sólidos de 15.000 L/h. De esta manera se podrían determinar los costes de operación que tendría una planta industrial con capacidad anual para tratar más de 100.000 m³ de residuos líquidos.

Con el fin de disminuir el tamaño del evaporador, se propone combinar el sistema de tratamiento integral propuesto con otros procesos de tratamiento de residuos líquidos. De este modo, si los residuos líquidos se someten a procesos de membrana, cuyo principal inconveniente es el rechazo, sería este rechazo el que pasaría a la parte de separación acelerada de sólidos, disminuyendo de esta forma la capacidad de tratamiento, tanto de esta parte como de la etapa de evaporación.

IX.- BIBLIOGRAFÍA.

[Adhoun y Monser 2004] Adhoun, N.; Monser, L. *Decolourization and removal of phenolic compounds from olive mill wastewater by electrocoagulation*. Chemical Engineering and Processing, 43, 10, pp.1281-1287. 2004.

[AENOR 1991] AENOR *Ingeniería mecánica: Tomo 4. Calderas. Parte 1, Diseño y construcción de calderas. Volumen 4*. Volumen 29 de recopilación de Normas UNE. AENOR. 1991.

[Aguilar et al 2002] Aguilar, M.I.; Sáez, J. Lloréns M., Soler, A., Ortuño, J.F. *Tratamiento Físico-Químico de Aguas Residuales: Coagulación-Floculación*. 1ª ed. Universidad de Murcia. Editorial EDITUM. 2002

[Alba et al 1982] Alba, J.; Muñoz, E.; Martínez, J.M. *Obtention of olive oil use of additives facilitating its extraction*. Alimentaria 138, pp. 25-55. 1982.

[Alburquerque et al 2004] Alburquerque, J.A.; Gonzalez, J.; García, D.; J. Cegarra *Agrochemical characterization of "alperujo", a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction*. Bioresour. Technol., 91, pp 195-200. 2004.

[Alburquerque et al 2006] Alburquerque, J.; González, J.; García, D.; Cegarra, J. *Effects of bulking agent on the composting of "alperujo", the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction*. Bioresource Techn., 91, pp 195-200. 2006.

[Alfano et al 2008] Alfano, G.; Belli, C.; Lustrato, G.; Ranalli, G. *Pile composting of two-phasecentrifuged olive husk residues: Technical solutions and quality of cured compost*. Bioresurce Techn., 99, pp 4694-4701. 2008.

[Álvarez-Rodríguez et al 2009] Álvarez-Rodríguez J.; Muñoz F.; Joy M.. *Valoración nutritiva de alperujo crudo y extraído producido en Aragón (España)*. REDVET 10 (3), pp 1-8. 2009.

[Aranda 2006] Aranda, E. *Fraccionamiento físico del alperujo como base para desarrollar una estrategia biológica con hongos saprobios y arbusculares para la eliminación de su fitotoxicidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España. 2006.

[Barb et al 1951] Barb W.G.; Baxendale J.H.; George P.; Hargrave K.R. *Reactions of ferrous and ferric ions with hydrogen peroxide. Part II. - The ferric ion reaction*. Transactions of the Faraday Society, 47, pp. 591-616. 1951.

[Bauer *et al* 1999] Bauer, R.; Waldner, G.; Fallmann, H.; Hager, S.; Klare, M.; Krutzler, T.; Malato, S.; Maletzky, P. *The Photo-Fenton Reaction and the TiO₂/UV Process For Waste Water Treatment- Novel Developments*. Catalysis Today 53, pp 131-144. 1999.

[Beltrán *et al* 2000] Beltrán de Heredia, J.; Domínguez, J.R.; García, J.; Ramos, M^a.P.; Torregrosa, J. *Tratamiento con ozono de alpechín depurado previamente por una etapa biológica anaerobia*. Tecnología del agua, ISSN 0211-8173, 198, pp 60-65. 2000.

[Bermejo y Cocero 2006] Bermejo, M.D.; Cocero, M^a.J. *Supercritical water oxidation*. Thechnical review. AICHE. 52, 11, pp 3933-3951. 2006.

[Bianchi 2003] Bianchi, G. *Lipids and Phenols in table olives*. Eur. J. Lipid Sci. Technol., 105. pp 229-242. 2003.

[Boari *et al* 1980] Boari, G.; Carrieri, C.; Santori, M. *Depurazione con processi a membrana di acque di vegetazione diversamente pretrattate*. Oli, Grassi Derivati, 16, 1, pp 2-4. 1980.

[Borja *et al* 1993] Borja, R.; Alba, J.; Martín, A.; Ruiz, A.; Hidalgo, F.; Alonso, V. *Caracterización y digestión anaerobia de las aguas de lavado del aceite de oliva virgen*. IX Congreso Nacional de Química. ANQUE. Sevilla. 1993.

[Borja *et al* 2005] Borja, R.; Martín, A.; Sánchez, E.; Rincón, B.; Raposo, F. *Kinetic modeling of the hydrolysis, acidogenic and methanogenic stops in the anaerobic digestion of two-phase olive pomace (TPOP)*. Process Biochem., 40, pp 1841-1847. 2005.

[Caputo *et al* 2003] Caputo, A.C.; Scacchia, F.; Pelagagge, P. *Disposal of by-products in olive oil industry: waste to energy solutions*. Applied Thermal Engineering, 23, pp 197-214. 2003.

[Cardoso *et al* 2003] Cardoso, S.M.; Coimbra, M.A.; Lopes da Silva, J.A. *Calcium mediated gelation of an olive pomace pectic extract*. Carbohydr. Polym., 52. pp 125-133. 2003.

[Carrascosa 1995] Carrascosa, M.B. *Separación de sólidos por ultrasonidos en aguas residuales de la industria agroalimnetaria*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Valladolid. 1995.

[Cegarra y Paredes 2008] Cegarra, J.; Paredes, C. *Residuos agroindustriales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

[Cerrone 2011] Cerrone, F. *Producción de Poliésteres Biopoliméricos (PHAs) desde Alpeorujó por medio de bacterias fijadoras de Nitrógeno*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España 2011.

[Cert *et al*, 1996] Cert, A.; Alba, J.; León-Camacho, M.; Moreda, W.; Pérez-Camino, MC. *Effects of talc addition and operating mode on the quality and oxidative stability of virgin oils obtained by centrifugation*. J. Agric. Food Chem., 44, pp. 3930-3934. 1996.

[Civantos 2008] Civantos, L. *Obtención del aceite de oliva virgen*. 3ª ed. Madrid: Editorial Agrícola Española: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, D.L. 2008.

[Climent *et al* 1996] Climent, M.D.; Abad, M.; Aragón, P. *El compost de residuos sólidos urbanos (RSU). Sus características y aprovechamiento en agricultura*. Ediciones y Promociones LAV S.L. Valencia. 1996.

[De Lucas *et al* 2002] De Lucas, A.; Cañizares, P.; Rodrigo, M.A.; García-Gómez, J. *Electrochemical treatment of aqueous phenol wastes: A preliminary economical Outlook*. Waste Manag. Environ., 161. 2002.

[Doménech *et al* 2004] Doménech, X.; Jardim W.F.; Litter M. *Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea: Procesos Avanzados de Oxidación para la eliminación de contaminantes*. Editor: Miguel Blesa, Red CYTED VIII-G, pp 79-101. 2004.

[Escolano 1987] Escolano, A. *Algunos ejemplos de tratamiento en la cuenca del Guadalquivir y sur de España*. Seminario sobre tratamiento y reciclado de aguas residuales de bajos costos económicos y energéticos. OCDE-MOPU. Madrid. 1987.

[Fenton, 1894] Fenton, H.J.H. J. Chem. Soc., 65, pp 899-910. 1894.

[Fernández *et al* 2008] Fernández, D.G.; Espínola, F.; Moya, M. *Influencia de diferentes coadyuvantes tecnológicos en la calidad y rendimiento del aceite de oliva virgen utilizando la metodología de superficies de respuesta*. Grasas y Aceites, 59 (1), pp. 39-44. 2008

[Fernández-Bayo 2008] Fernández-Bayo, J.D. *Valoración de la efectividad de vermicomposts de residuos vitivinícolas y oleícolas en el control de plaguicidas en suelos*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. España. 2008.

[Fiestas *et al* 1979] Fiestas, J. A.; Janer, M. L.; León, R.; Navarro, R. *Depuración anaerobia-aerobia del alpechín*. XVI Reunión Plenaria de la Asamblea de Miembros del Instituto de la Grasa y sus Derivados. Sevilla 1979.

[Fiestas 1990] Fiestas, J.A. *Tratamientos de alpechines mediante procesos microbiológicos*. Reunión Internacional sobre "Tratamiento de Alpechines". Consejo Oleícola Internacional. Junta de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca). Córdoba. 1990.

[Gallego *et al* 2000] Gallego, J.A.; Rodríguez, G.; Riera, E.; Gaete, L.; Andrés, E.; Montoya, F.; Elvira, L.; Hoffmann, T.; Vázquez, F.; Gálvez, J.C.; González, I.; Piñuel, L.; García, J.A.; Acosta, V.M. *Aglomeración acústica de partículas*. Revista de Acústica. Vol. XXXI. n^{os} 3 y 4. 2000

[García 2000] García, J. *Depuración de alpechín por procesos combinados químicos y biológicos*. Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura. España 2000.

[García-Granados y Martínez-Nieto 1993] García-Granados, A.; Martínez-Nieto, L. *Procedimiento de obtención de manitol y productos derivados a partir de alpeorujo procedente del procesado de aceituna según el procedimiento en dos fases*. Patente 93.00945. 1993.

[Garrote *et al* 1999] Garrote, G.; Domínguez, H.; Pájaro, J.C. *Hydrothermal processing of lignocellulosic materials*. Holz. Roh. Werkst., 57, pp 191-202. 1999.

[Glaze *et al* 1987] Glaze, H.W.; Kang, J.W.; Chapin, D.H. *Chemistry of water treatment processes involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation*. Ozone Sci. Eng., 9, pp 335-352. 1987.

[Gogate y Pandit 2004a] Gogate, P.R.; Pandit, A.B.; *A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies and ambient conditions*. Adv. Environ. Res., 8, pp 501-551. 2004.

[Gogate y Pandit 2004b] Gogate, P.R.; Pandit, A.B. *Sonochemical reactors: scale up aspects*. Ultrasonics Sonochemistry, 11, pp 105-117. 2004

[González 2008] González, A. *Lo cierto y lo falso en el tratamiento magnético del agua y los combustibles*. Rev. Cub. Física, 25, n^o 2B, pp 101-105. 2008

[Habert y Weiss 1934] Haber, F.; Weiss, J.J. *The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts*. Proc. Roy. Soc. London, A 147, pp 332-351. 1934.

[Hachicha *et al* 2008] Hachicha, S.; Sallemi, F.; Medioub, K.; Hachicha, R.; Ammar, E. *Quality assessment of composts prepared with olive mill wastewater and agricultural wastes*. Waste Management, 28, pp 2593-2603. 2008.

[Hermoso *et al* 1991] Hermoso, M.; Uceda, M.; García-Ortiz, A.; Morales, J.; Frías, L.; Fernández, A. *Elaboración de aceite de oliva de calidad*. Comunicación I+D Agroalimentaria 5/91. Junta de Andalucía. Sevilla. 1991.

[Hodaifa 2004] Hodaifa, G. *Aprovechamiento de las aguas residuales de la industria oleícola en la producción de biomasa de microalgas*. Tesis Doctoral. Universidad de Jaén. España (2004).

[Iniesta *et al* 2001] Iniesta, J.; Michaud, P.A.; Panizza, M.; Cerisola, G.; Aldaz, A.; Comninellis, C. *Electrochemical oxidation of phenol at boron-doped diamond electrode*. Electroch. Acta, 46, 3573. 2001.

[Insam y de Bertoldi 2007] Insam, H.; de Bertoldi, M. *Microbiology of the composting process*. Compost Science and Technology, pp 25-48. Elsevier Ltd. Oxford. 2007.

[Jáuregui-Haza *et al* 2008] Jáuregui-Haza, U. J.; Quesada-Peñate, I.; Zarragoitia-González, A.; Albasi, C.; Wilhelm, A. M.; Delmas, H. *Perspectivas y experiencias en el empleo de tecnologías no convencionales en el tratamiento de residuales líquidos*. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental. Vol. 8, pp 85-95. 2008.

[Lara *et al* 1990] Lara, A.; Perán, J.R.; Aroca, S. *Depuración y aprovechamiento integral de los alpechines mediante evaporación térmica por múltiple efecto*. 1ª Reunión sobre el Medio Ambiente en Andalucía. Córdoba. 1990.

[Lee 1996] Lee, S.Y. *Bacterial Polyhydroxyalkanoates Review*. Biotechnology and Bioengineering, 49, pp 1-14. 1996.

[Legrini *et al* 1993] Legrini, O.; Oliveros, E.; Braun, A.M. *Photochemical processes for Water treatment*. Chem. Rev., 93, pp 671-698. 1993.

[Levi-Minzi *et al* 1992] Levi-Minzi, R.; Saviozzi, A.; Riffaldi, R.; Falzo, L. *L'Epanchage au champ des margines: effects sur les propriétés du sol*. Olivae, 40, pp 20-25. 1992

[Longsdon *et al* 2002] Longsdon, G.; Hess, A.; Horsley, M. *Guía para la selección de procesos de tratamientos de agua*. 1ª ed. McGraw Hill. Madrid, España. 2002

[López 1996] López, J. *Depuración de residuos oleosos de sentinas por oxidación acuosa*. Tesis Doctoral, Universidad de Cádiz. España. 1996.

[Lores *et al* 2006] Lores, M.; Gómez-Brandón, M.; Pérez-Díaz, D.; Domínguez, J. *Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts*. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 9, pp 2993-2996. 2006.

[Kohan 2000] Kohan, A.L. *Manual de calderas: Principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas*. Volumen 1. McGraw Hill. 2000.

[Marselli *et al* 2003] Marselli, B.; García-Gómez, J.; Michaud, P.A.; Rodrigo, M.A.; Cominellis, C. *Electrogeneration of hydroxyl radicals on boron-doped diamond electrodes*. *J. Electrochem. Soc.*, 150, D79. 2003.

[Martín 1997] Martín, J.L. *Regulación del proceso de flash y evaporación de aguas residuales procedentes de la industria agroalimentaria*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Valladolid. 1997.

[Merino 1995] Merino, M. *Optimización de la etapa de separación de la fase sólida suspendida en las aguas residuales de la industria agroalimentaria*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Valladolid. 1995.

[Merz y Waters 1947] Merz, J.H.; Waters, W.A. *Mechanism of oxidation of alcohols with Fenton's reagent*. *Discuss. Faraday Soc.*, 2, pp 179-188. 1947.

[Merz y Waters 1949] Merz, J.H.; Waters, W.A. *Oxidations involving the free hydroxyl radical*. *J. Chem. Soc.*, S1, S15-S25. 1949.

[Molina y Nefzaoui 1996] Molina, E.; Nefzaoui, A. *Recycling of olive oil by-products: possibilities of utilization in animal nutrition*. *Int. Biodet. Biodegr.*, 38, pp: 227-235. 1996.

[Molina *et al* 2003] Molina, E., Yañez, D.R., Moumen, A.; Martín, A.I. *Rumial degradability and in vitro intestinal digestibility of sunflower meal and in vitro digestibility of olive by-products supplemented with urea or sunflower meal: comparison between goats and sheep*. *Animal Feed Sci. and Techn.*, 110, pp 3-15. 2003.

[Moreno 2009] Moreno, B. *Estrategias de recuperación de suelos contaminados por tricloroetileno basadas en el uso de vermicompost de alperujo y especies vegetales con potencial fitorremediador*. Tesis doctoral. Universidad de Granada. España. 2009.

[Moreno y Mormeneo 2008] Moreno, J.; Mormeneo, S. *Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

[Morillo *et al* 2009] Morillo, J.A.; Antizar-Ladislao, B.; Monteoliva-Sánchez, M.; Ramos-Cormenzana, A.; Russell, N.J. *Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82, pp 25-39. 2009.

[Ordoñez *et al* 1996] Ordóñez, R.; González, P.; Giráldez, J.V.; Beltrán, G. *Evolución temporal de determinados parámetros químicos en un suelo cultivado regado con alpechín*. *Ing. del Agua*, 3, 1, pp 53-58. 1996.

[Ordóñez *et al* 1998] Ordóñez, R.; Romero, A.M^a.; Polo, M^a.J.; Giráldez, J.V.; González, P. *Aplicación de alperujo en suelos: I. Dinámica de los principales nutrientes aportados*. XVI. Congreso Nacional de Riegos, pp 157-164. Palma de Mallorca 1998.

[Ordóñez *et al* 1999] Ordóñez, R.; González, P.; Giráldez, J.V.; García-Ortiz, A. *Efecto de la enmienda con alperujo sobre los principales nutrientes de un suelo agrícola*. *Actas de las IV Jornadas sobre Investigación en la Zona no Saturada*, 4, pp 123-126. Gobierno de Canarias. 1999.

[Panizza *et al* 2001] Panizza, M.; Michaud, P.A.; Cerisola, G.; Comninellis, C. *Electrochemical treatment of wastewaters containing organic pollutants on boron-doped diamond electrodes: Prediction of specific energy consumption and required electrode area*. *Electrochem. Commun.*, 3, 336. 2001.

[Panizza *et al* 2006] Panizza, M.; Zolezzi, M.; Nicoletta, C. *Biological and electrochemical oxidation of naphthalene sulfonates*. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 81, 225. 2006.

[Paredes *et al* 1999] Paredes, C.; Cegarra, A.; Roig, A.; Sánchez-Monedero, M.A.; Bernal, M.P. *Characterization of olive mill wastewater (alpechín) and its sludge for agricultural purposes*. *Bioresource Technol.*, 67, pp 111-115. 1999.

[Polcaro *et al* 2003] Polcaro, A.M.; Vacca, A.; Palmas, S.; Mascia, M. *Electrochemical treatment of wastewater containing phenolic compounds: Oxidation at boron-doped diamond electrodes*. J. Appl. Electrochem., 33, 885. 2003.

[Ramos 1994] Ramos, F. *El agua magnetizada*. Madrid: Ed. Mandala. 1994

[Reimer 1983] Reimer, G. *Posibilidades de tratamiento del alpechín por ultrafiltración y ósmosis inversa*. Química e Industria Alimentaria, pp 273-274. 1983.

[Riera *et al* 2000] Riera, E.; Gallego, J.A.; Rodríguez, G.; Elvira, L.; González, I. *Application of high-power ultrasound to enhance fluid / solid particle separation processes*. Ultrasonics, 38, pp 642-646. 2000.

[Rodrigo *et al* 2001] Rodrigo, M.A.; Michaud, P.A.; Duo, I.; Panizza, M.; Cerisola, G.; Comninellis, C. *Oxidation of 4- Chlorophenol at Boron-Doped Diamond Electrode for Wastewater Treatment*. J. Electrochem. Soc., 148, D60. 2001.

[Rodríguez *et al* 1985] Rodríguez, G.; Gallego, J.A.; Ramos, A.; Andrés, E.; San Emeterio, J.L.; Montoya, F. *High power ultrasonic equipment for industrial defoaming*. Ultrasonics International 85, Conference Proceedings, pp. 506-511. London. 1985

[Roig *et al* 2006] Roig, A.; Cayuela, M.L.; Sánchez-Monedero, M.A. *An overview on olive mill wastes and their valorization methods*. Waste Manag., 26, pp 960-969. 2006.

[Romero *et al* 1998] Romero, A.M^a.; Ordóñez, R.; Giráldez, J.V. *Variación de las características físico-químicas de varios suelos enmendados con alperujo*. IV International Congress of Project Engineering, pp 1316-1324. Córdoba 1998.

[Ryan *et al* 2002] Ryan, D.; Antolovich, M.; Prenzler, P.; Robards, K; Lavee, S. *Biotransformations on phenolic compounds in Olea europea*. L. Sc. Hortic., 92; pp 147-176. 2002.

[Shield 1982] Shield, C. D. *Calderas: tipos, características y sus funciones*. Compañía Editorial continental, S.A. México. 1982.

[Soliva *et al* 2008] Soliva, M.; López, M.; Huerta, O. *Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 2008.

[Taguchi 1992] Taguchi, G. *Taguchi methods, research and development*. American Supplier Institute. 1992.

[Taguchi *et al* 2007] Taguchi, G., Chowdhury, S., Wu, Y. *Taguchi's Quality Engineering Handbook*. Published Online: 26 NOV 2007

[Trainalba 1995] Trainalba, S.L. *Memoria del proyecto planta de depuración integral de alpechín*. Noviembre 1995.

[Valenzuela 1986] Valenzuela, G. *Thermal concentration of vegetation water*. International Symposium on Olive By-Products Valorization (eds. FAO Madrid), pp 173-177. Sevilla 1986.

[Walling y Weil 1974] Walling, C.; Weil, T. *Ferric ion catalyzed decomposition of hydrogen peroxide in perchloric acid solution*. *Int. J. Chem. Kinet.*, 6 (4), pp 507-516. 1974.

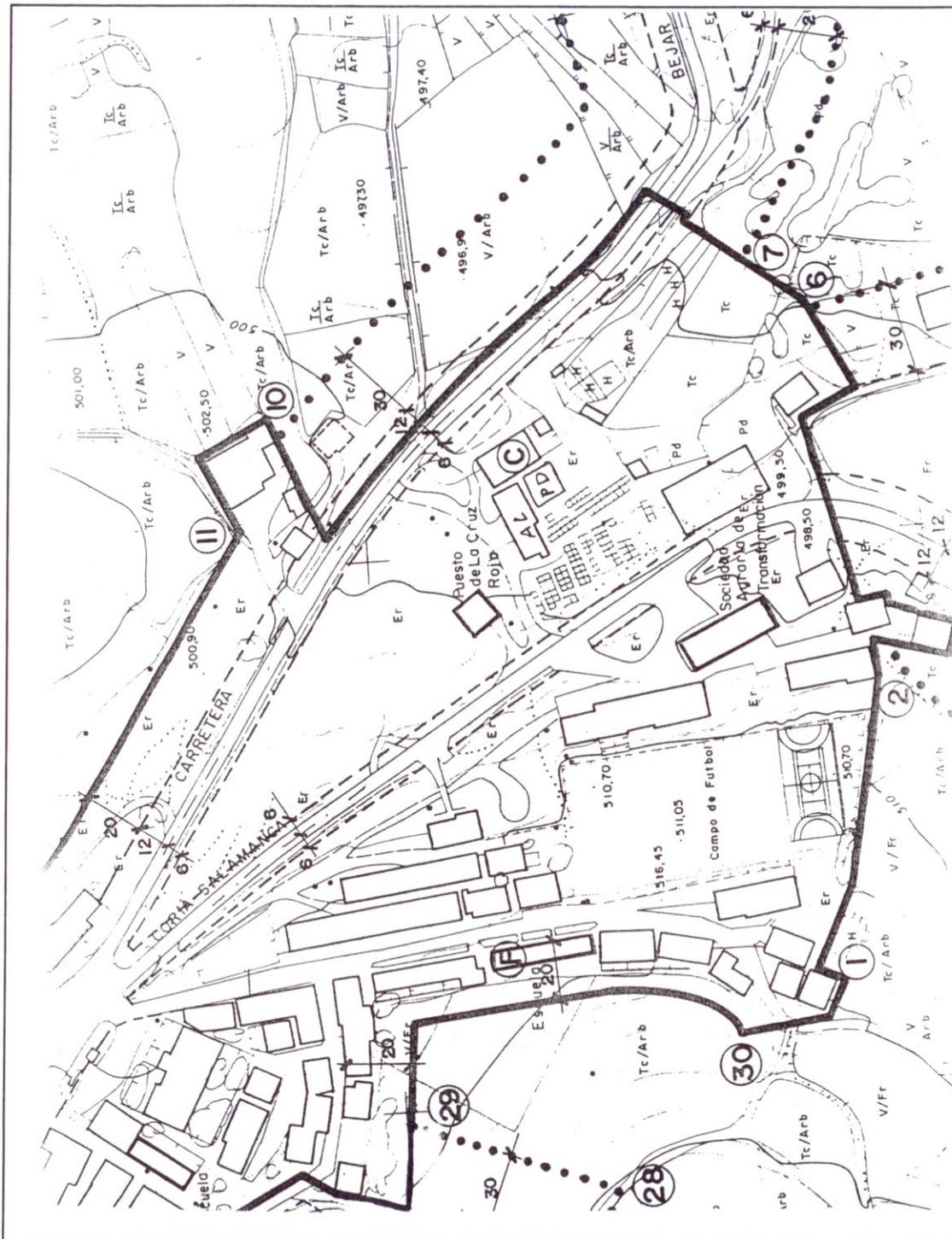
ANEXO I: PLANOS.

Planta industrial de demostración para la depuración integral del alpechín.

SOT-01	Plano de situación planta.
SOT-02	Cubierta y alojamiento tratamiento térmico.
SOT-03	Caldera de aceite térmico.
SOT-04	Tolva de orujo.
SOT-05	Esquema general tratamiento físico-químico.
SOT-06	Filtro inicial de alpechín.
SOT-07	Equipo de preparación de polielectrolito.
SOT-08	Mezclador cónico.
SOT-09	Decantador espesador de lodos.
SOT-10	Depósito de mezcla.
SOT-11	Depósito pulmón de fangos.
SOT-12	Esquema general tratamiento térmico.
SOT-13	Precalentador.
SOT-14	Cámara de flash.
SOT-15	Evaporador.
SOT-16	Intercambiador de placas.

Planta de demostración para el tratamiento integral de todos los residuos de almazara.

30106-13503	Evaporador de placas del prototipo ALFA VAP-350.
59.5.141.0114	Compresor de vapor del prototipo ALFA VAP-350.
9660000054	Esquema de funcionamiento del prototipo ALFA VAP-350.
9660000076	Prototipo ALFA VAP-350.
OLIV-BAE-AGIT-01	Montaje agitador en depósito de mezcla.
OLIV-BAE-AGIT-02	Disco agitador.
OLIV-BAE-DEC-01	Distribución en planta separación acelerada de sólidos.
OLIV-BAE-DEC-02	Depósito pulmón de alpechín.
OLIV-BAE-DEC-04	Primer sistema de decantación de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-05	Primer decantador de fangos de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-06	Primer y segundo decantador de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-07	Depósito de mezcla alpechín-floculante.
OLIV-BAE-DEC-08	Segundo sistema de decantación de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-15	Segundo decantador de fangos de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-17	Decantador final de las líneas 1 y 2.
OLIV-BAE-DEC-19	Primer sistema de decantación de la línea 3.
OLIV-BAE-DEC-21	Segundo sistema de decantación de la línea 3.
OLIV-BAE-DEC-22	Primer y segundo decantador de la línea 3.
OLIV-BAE-DEC-24	Tercer decantador de la línea 3.
OLIV-BAE-DEC 26	Primer y segundo decantador de fangos de la línea 3.
OLIV-BAE-DEC-27	Tercer decantador de fangos de la línea 3.
OLIV-BAE-DIST-03	Distribución de equipos en planta.
OLIV-BAE-ESQ-01	Esquema instalación separación acelerada de sólidos.
OLIV-BAE-ESQ-02	Esquema instalación sistema de evaporación.
OLIV-BAE-RASQ-01	Montaje de rasqueta.
OLIV-BAE-TOP-01	Levantamiento topográfico.
OLIV-BAE-TOP-02	Levantamiento topográfico y edificios.



SIGNOS CONVENCIONALES

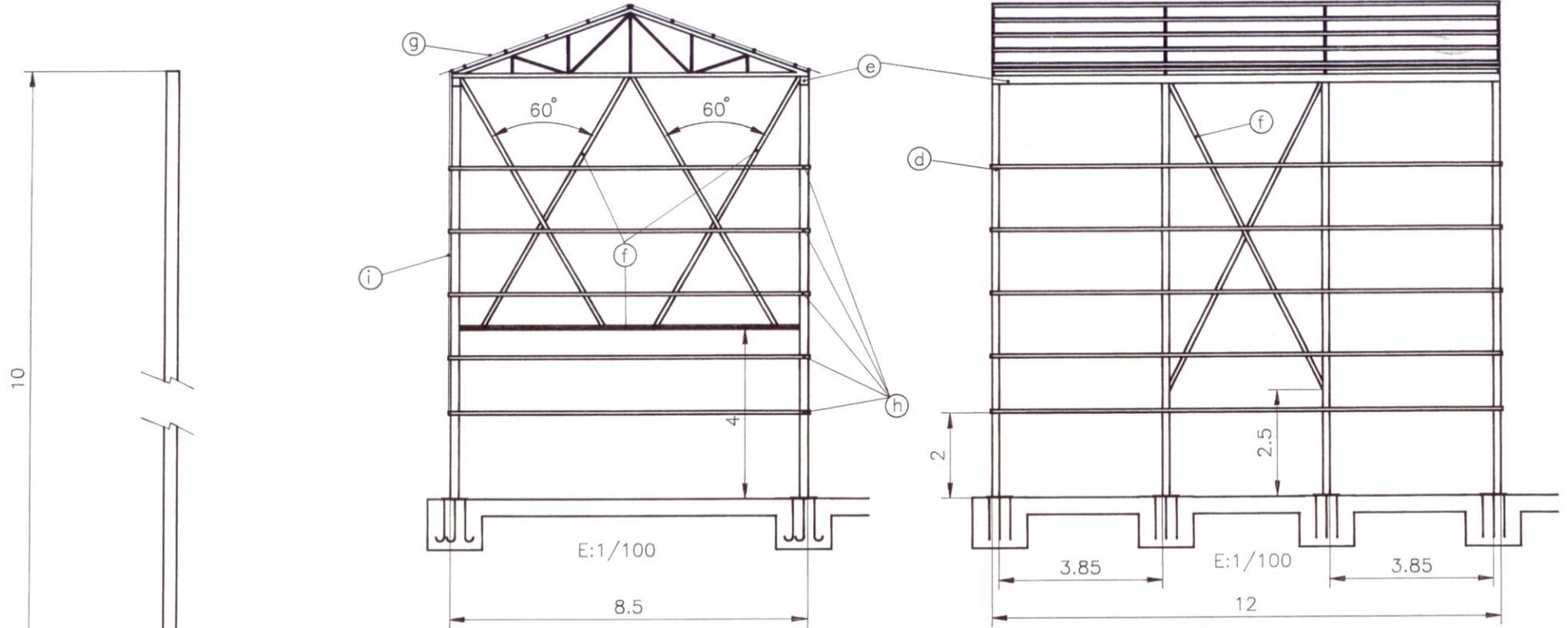
- Ferrocarril ancho normal, vía doble.
- Ferrocarril ancho normal, vía única.
- Ferrocarril electrificado.
- Alambrada, cerca metálica.
- Límite de provincia.
- Límite de término municipal.
- Límite de anejo.
- Vértice geodésico, 1º y 2º orden.
- Vértice geodésico 3º orden - V topográfico.
- Punto de apoyo - P. de poligonación - P principal.
- Puente de obra de fábrica - Puente de hierro.
- Torre de tendido eléctrico - Poste - Farol.
- Autopista - Autovía.
- Carretera nacional - Hitos kilométricos.
- Carretera comarcal.
- Carretera local o particular.
- Carretera en construcción.
- Pista.
- Camino carretero.
- Camino de herradura.
- Senda.
- Cañada - Vía pecuaria.
- Límite de cultivo.
- Mosa de árboles - Arbol aislado.
- Muro, pared o tapia.
- Edificio público singular.
- Edificio privado.
- Edificio en construcción.
- Canal.
- Acequia.
- Arroyo - Vaguada.
- Manantial - Pozo - Alberca o Piscina.
- Playa.
- Desmonte - Terrapién.
- Curvas de nivel - Curva de depresión.

USOS DEL SUELO

- Tc TERRENO DE CULTIVO.
- O OLIVAR.
- V VIÑEDO.
- Fr FRUTALES.
- H HUERTA.
- RF REPOBLACION FORESTAL.
- Ma MONTE ALTO.
- Mb MONTE BAJO.
- Ep ERIAL PASTO.

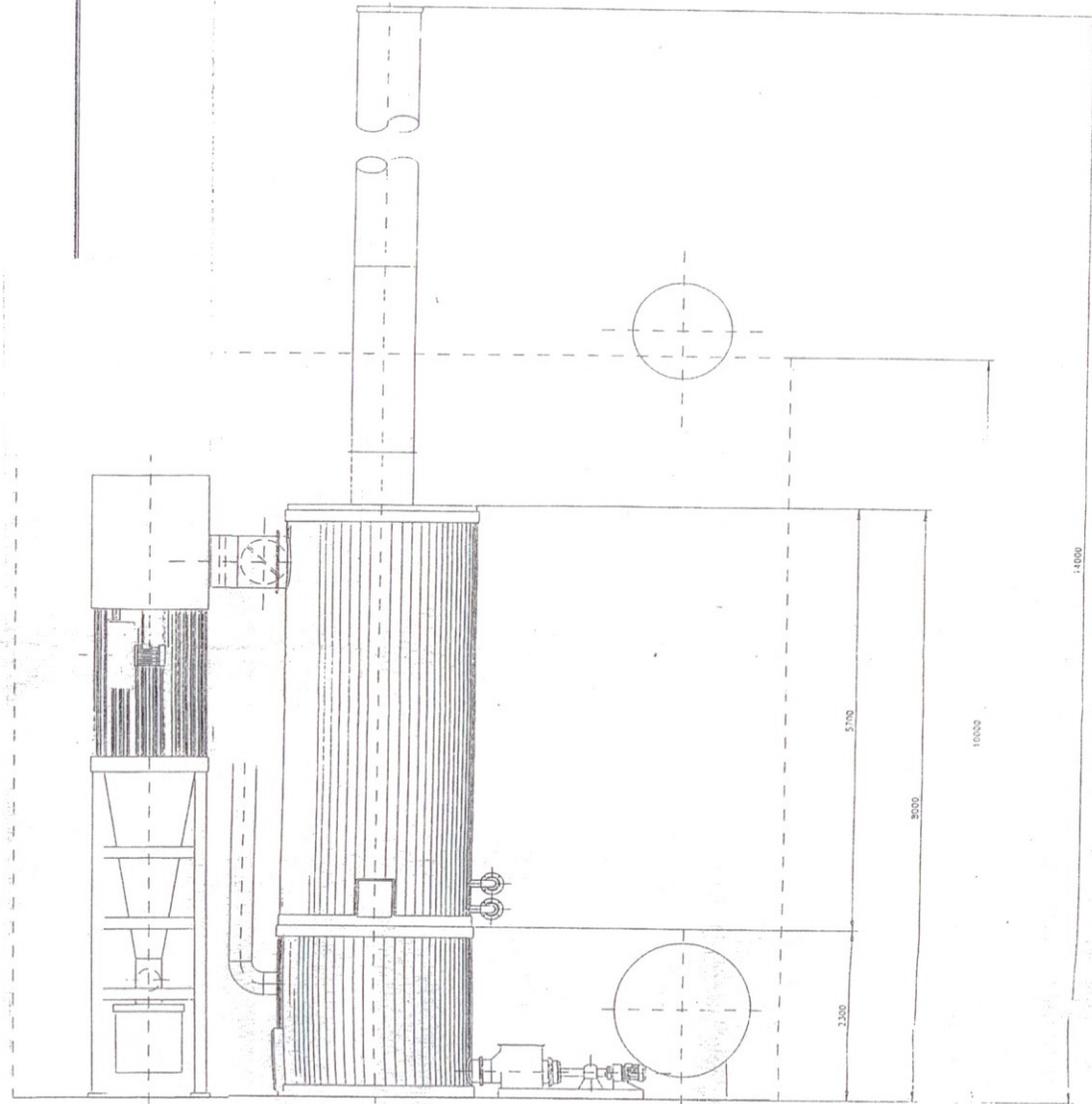
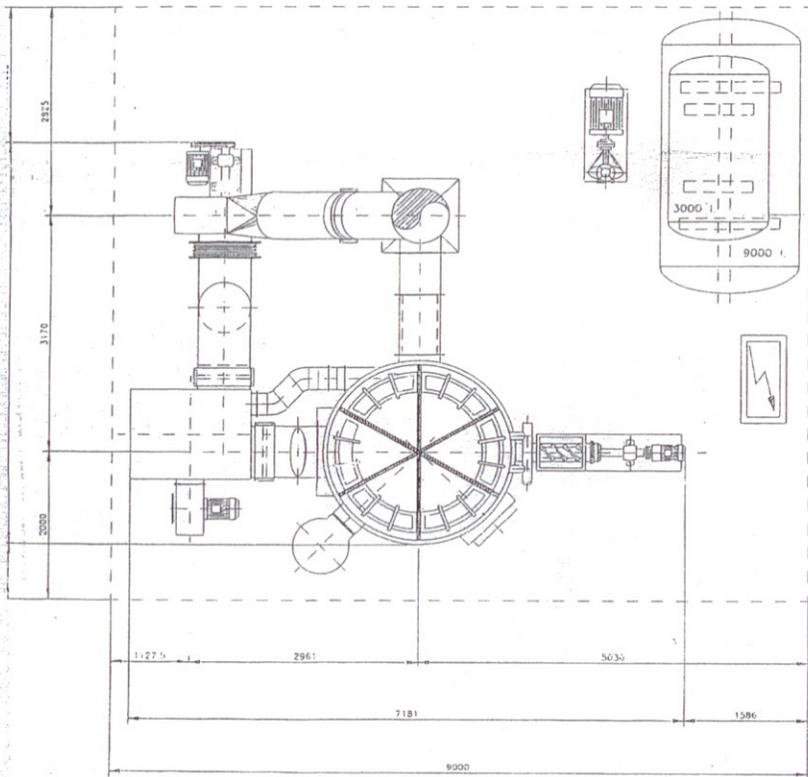
AL : ALMAZARA
PD : PLANTA DEPURADORA

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION PLANO SITUACION PLANTA TRATAMIENTO ALPECHINES	ESCALA 1/2000 FECHA ABRIL-94
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN CARTI		Ing. Ind.: J. R. Perón González Col. 849 C/ PASEO DEL SAUCE 51 Telf: 983-42358 47011 VALLADOLID
ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		PLANO Nº SOT-01



a.-PERFIL 100 X 40 X 3	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
b.-PERFIL 40 X 40 X 2	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
c.-PERFIL 80 X 40 X 3	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
d.-PERFIL "H" IPE 170	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
e.-PERFIL "L" 140	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
f.-TENSORES DOBLE ANGULO "L" 50	A-42b L.e.:2600kg/cm ²
g.-CUBIERTA CHAPA ONDULADA GALVANIZADA	
h.-PERFIL 80 x 40 x 2 sep 1.5m	
i.-CHAPA ONDULADA LACADA (paredes)	
TODAS LAS UNIONES SOLDADAS	

PROYECTO	DESIGNACION	ESCALA
TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	CUBIERTA ALOJAMIENTO CALDERA Y T. TERMICO	1/50
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION CARTI		FECHA
Ing. Ind.: J. R. Perón González Col. 849		ABRIL-94
C/ PASEO DEL CAUCE s/n. Telf: 983 423358 47011 VALLADOLID		PLANO Nº
ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		SOT-02



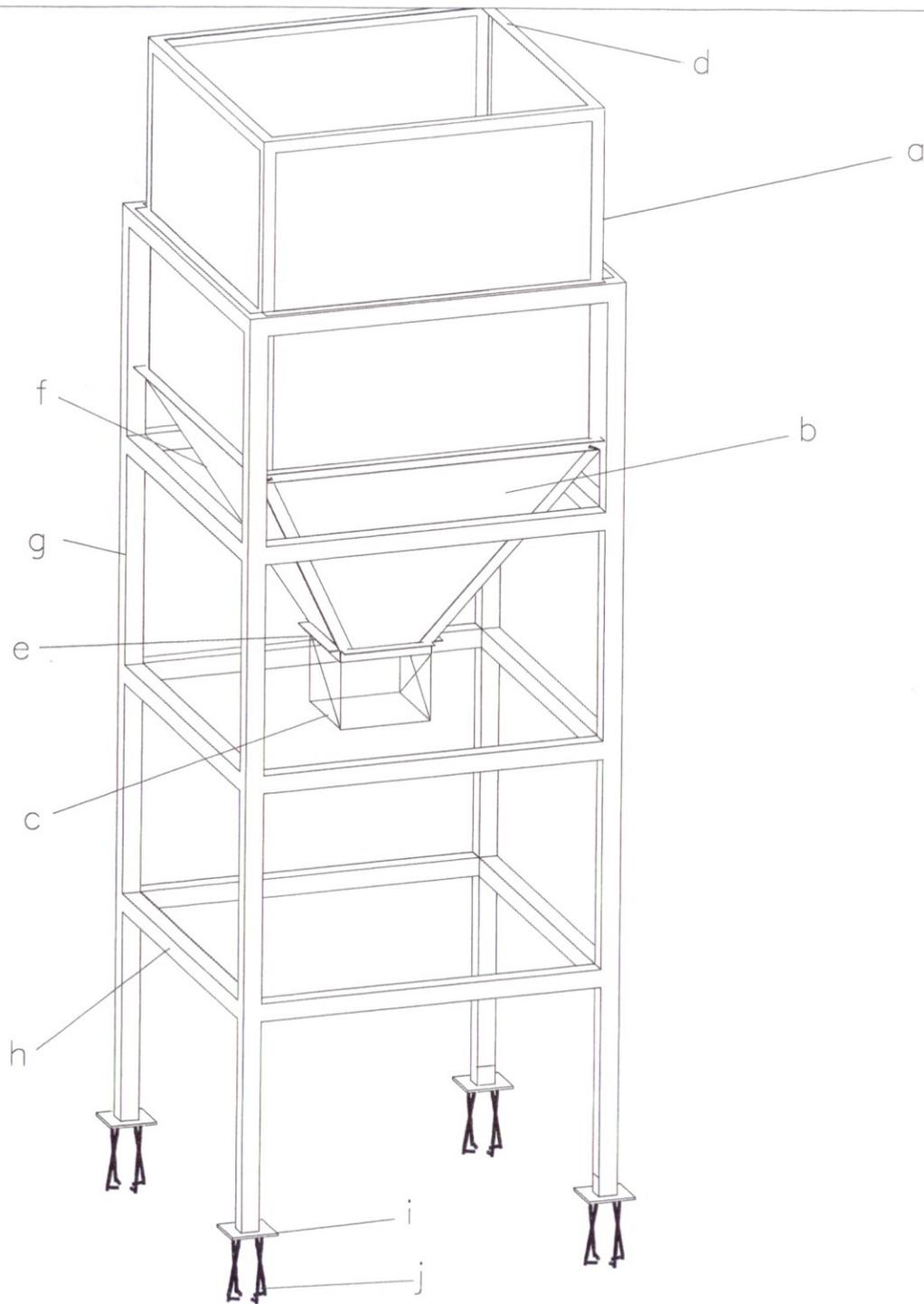
CARGAS
 CALDERA : 9500 kg
 ACEITE : 4950 kg
 HORNO : 11250 kg
 TOTAL : 25700 kg



ITEM	DESIGNACION	ESCALA
VTAMIENTO INTEGRAL ALPECHINES OSERRANO (SALAMANCA)	CALDERA ACEITE: TERMICO P.: 2.500.000 kcal	1/40
		FECHA
		ABRIL-94
VTRO DE AUTOMATIZACION, BOTICA Y TECNOLOGIAS LA INFORMACION CARTI		PLANO N°
		SOT-03



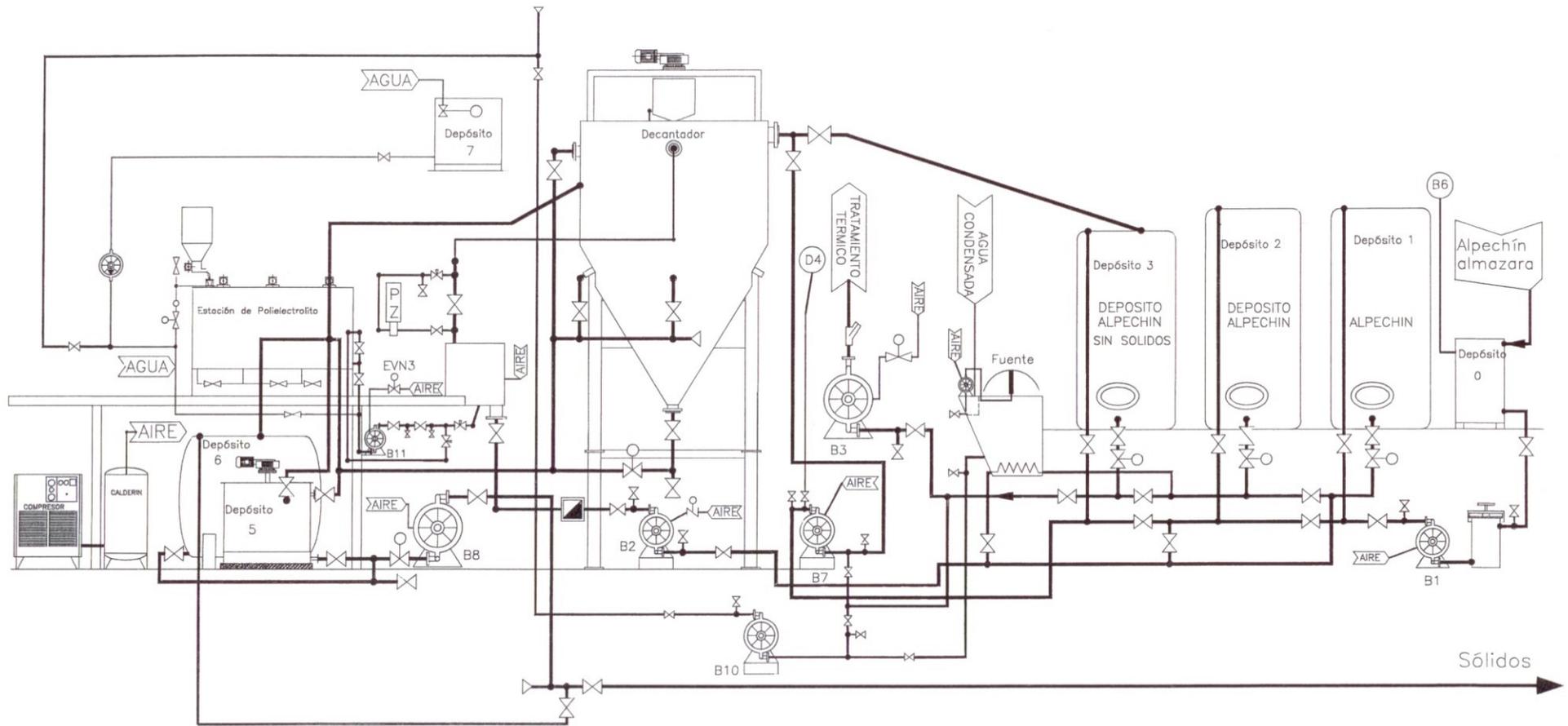
Ing. Ind.: J. R. Perón González
 Ctr. 84p V
 C.O. 84p V
 47011



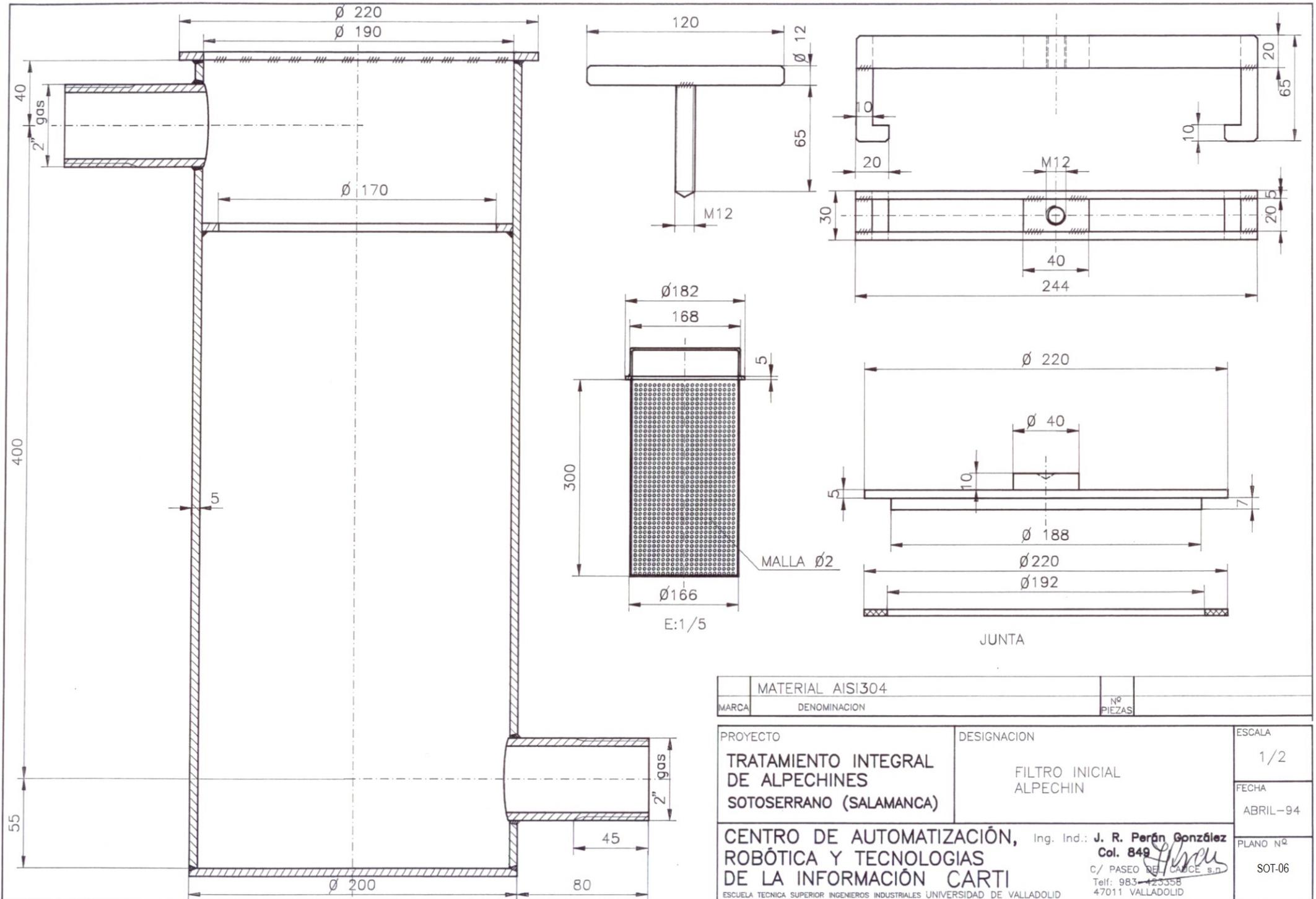
UNIONES SOLDADAS

a	Chapa 1500x1500x3 (4 unidades)
b	Trapezio isosceles bases 1500 , 400 h: 1100 e:3 (4 unidades)
c	chapa 400x400x3 (5 unidades)
d	"L" 50x50x3 16 de 1500
e	"L" 50x50x3 4 de 400
f	"L" 50x50x3 4 de 1230
g	Tubo 80x80x3 4 de 4000
h	Tubo 80x80x3 12 de 1500
i	Chapa 200x200x10 (4 unidades)
j	Barra tetracero 0 12 (anclajes)

DESIGNACION TOLVA ORUJO 4 m ³	ESCALA	DIBUJADO	
		COMPROBADO	
		PROYECTADO	
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION. CARTI <small>ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</small>	PLANO N ^o SOT-04		REF.



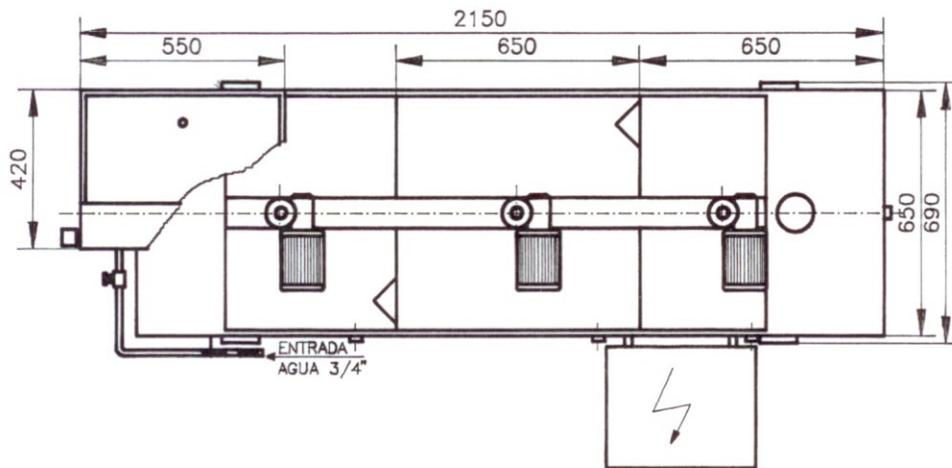
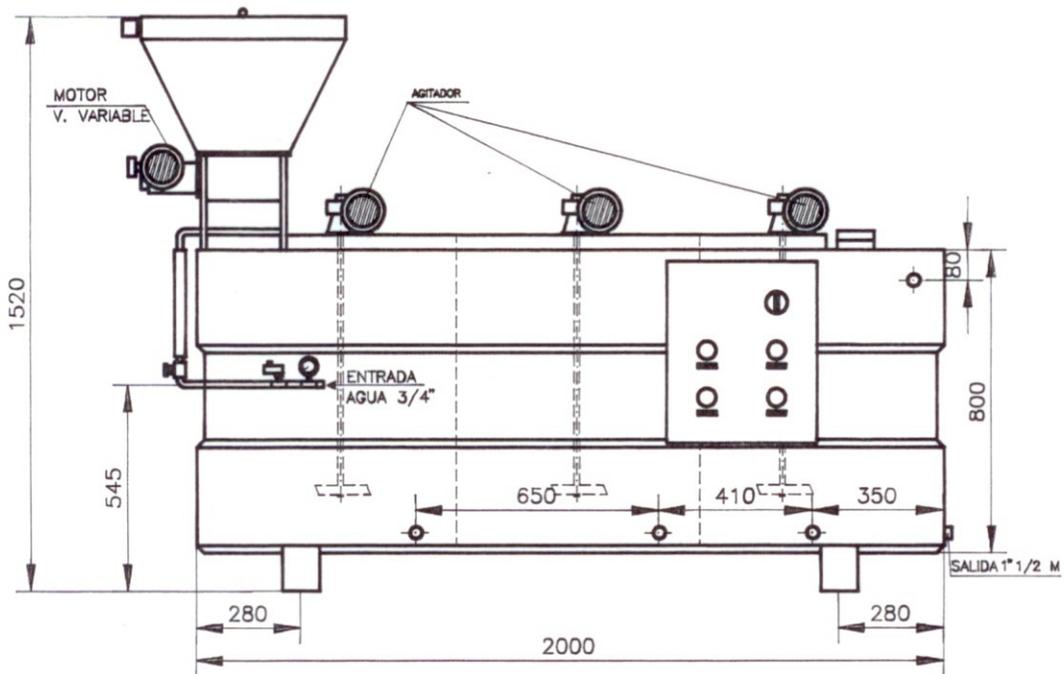
DESIGNACION ESQUEMA GENERAL (TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO)	ESCALA	DIBUJADO		
		COMPROBADO		
		PROYECTADO	<i>[Signature]</i>	
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION, CARTI <small>ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</small>	PLANO N ^o	SOT-05	REF.	



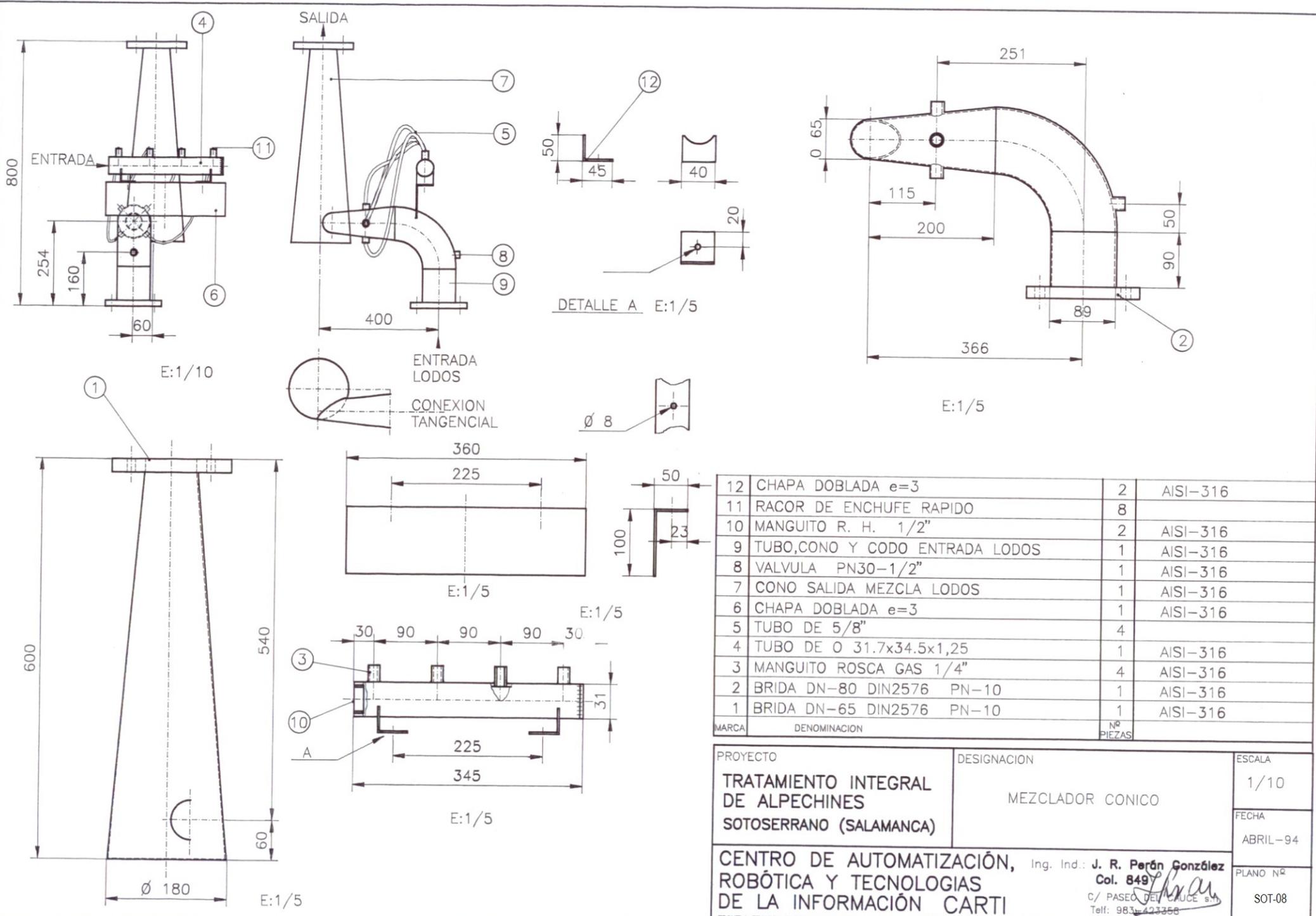
MATERIAL AISI304			
MARCA	DENOMINACION	Nº	PIEZAS

PROYECTO	DESIGNACION	ESCALA
TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	FILTRO INICIAL ALPECHIN	1/2
		FECHA
		ABRIL-94

CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN CARTI	Ing. Ind.: J. R. Perán González	PLANO Nº
	Col. 849	
ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	C/ PASEO DE LA CAUCE, S.D.	
	Tel: 983-423358	
	47011 VALLADOLID	

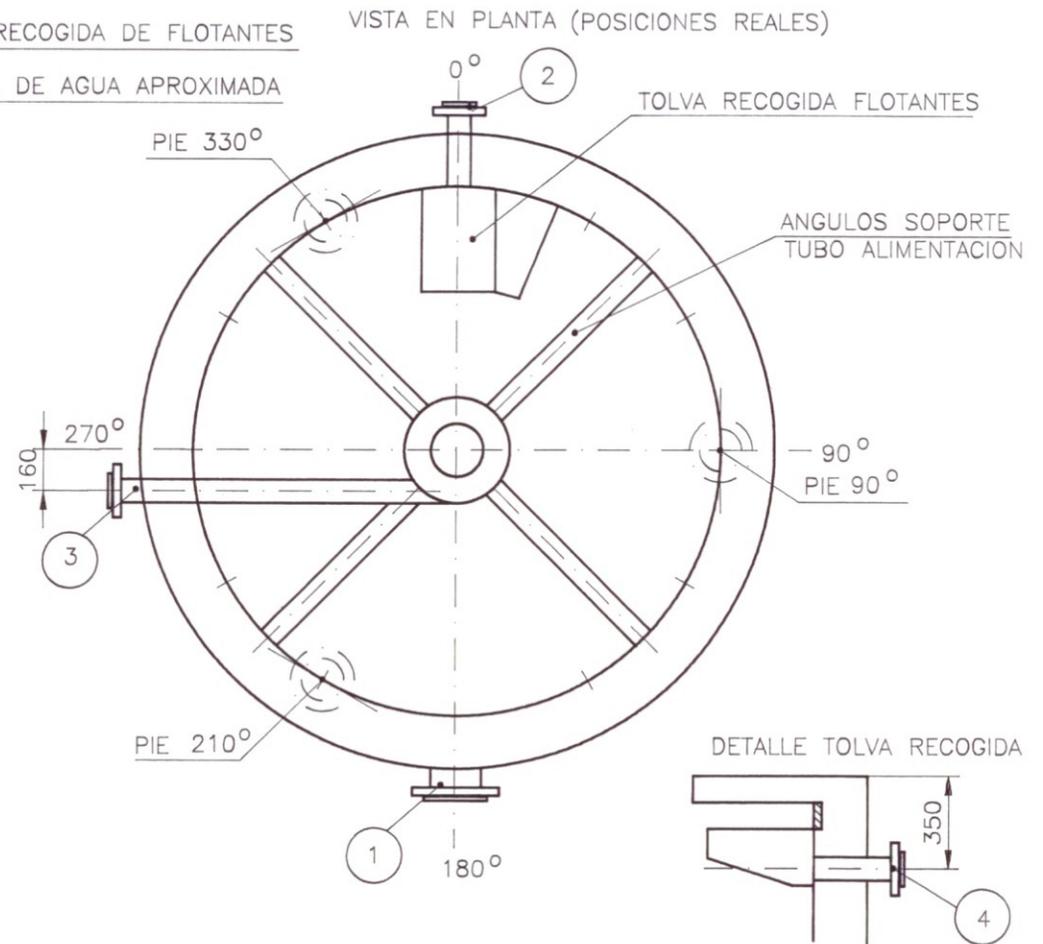
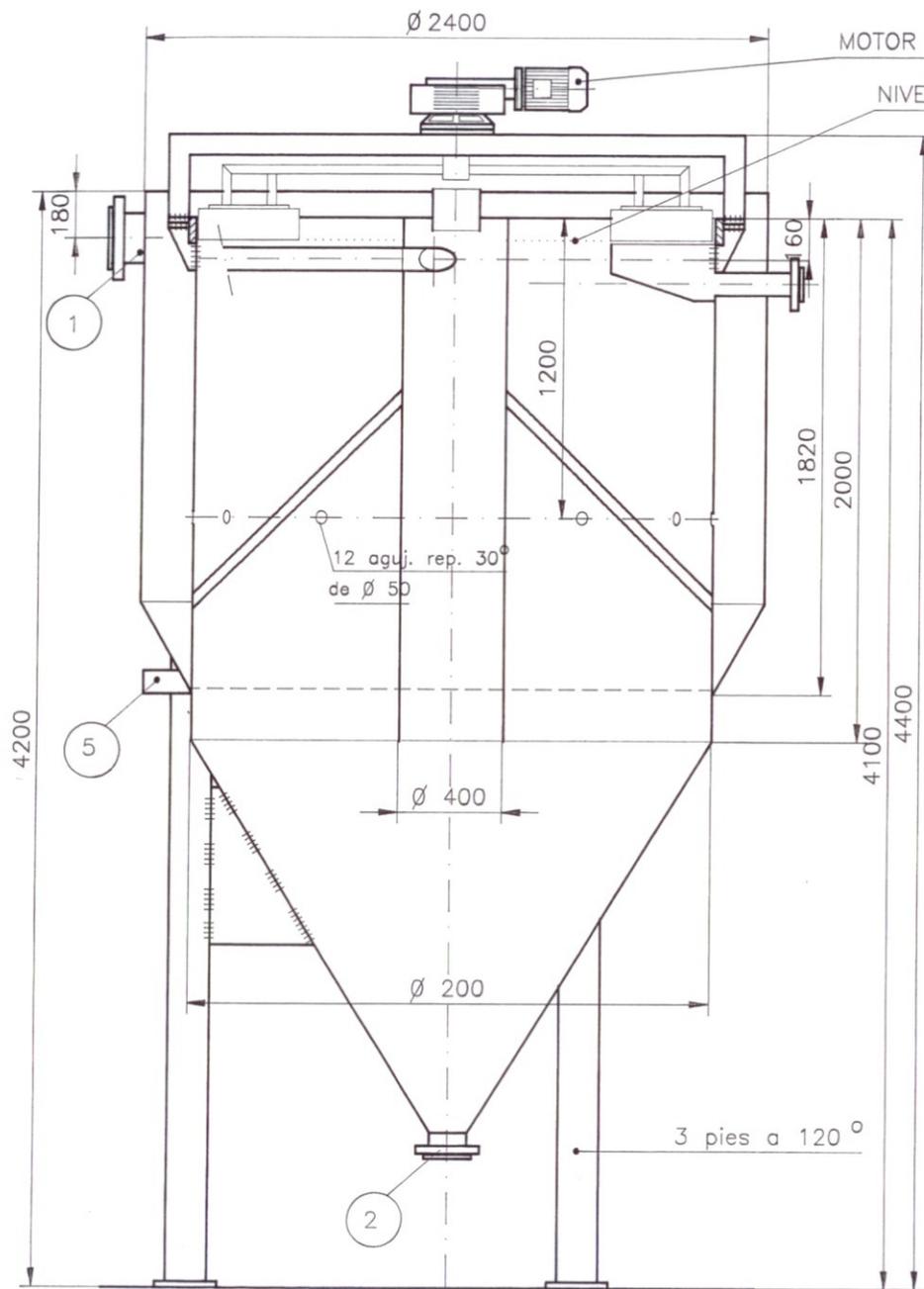


<p>PROYECTO</p> <p>TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)</p>	<p>DESIGNACION</p> <p>PREPARACION POLIELECTROLITO</p>	<p>ESCALA</p> <p>1/20</p>
<p>CENTRO DE AUTOMATIZACION, Ing. Ind.: J. R. Perán González ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS Col. 849 DE LA INFORMACION CARTI <small>ESCUOLA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</small></p>		<p>FECHA</p> <p>ABRIL-94</p>
<p><small>C/ PASEO DEL CAUCE s.n. Telf: 983-423358 47011 VALLADOLID</small></p>		<p>PLANO Nº</p> <p>SOT-07</p>



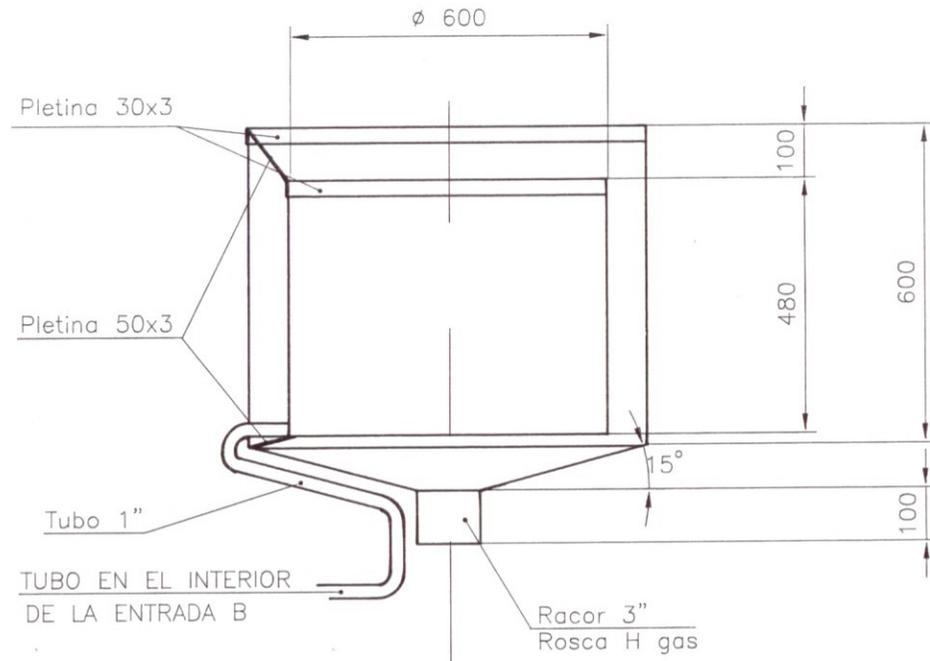
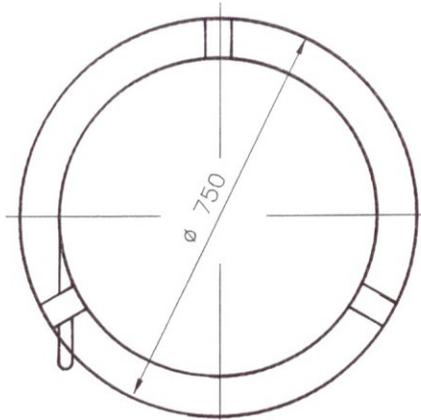
12	CHAPA DOBLADA e=3	2	AISI-316
11	RACOR DE ENCHUFE RAPIDO	8	
10	MANGUITO R. H. 1/2"	2	AISI-316
9	TUBO, CONO Y CODO ENTRADA LODOS	1	AISI-316
8	VALVULA PN30-1/2"	1	AISI-316
7	CONO SALIDA MEZCLA LODOS	1	AISI-316
6	CHAPA DOBLADA e=3	1	AISI-316
5	TUBO DE 5/8"	4	
4	TUBO DE Ø 31.7x34.5x1,25	1	AISI-316
3	MANGUITO ROSCA GAS 1/4"	4	AISI-316
2	BRIDA DN-80 DIN2576 PN-10	1	AISI-316
1	BRIDA DN-65 DIN2576 PN-10	1	AISI-316
MARCA	DENOMINACION	Nº	PIEZAS

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION MEZCLADOR CONICO	ESCALA 1/10
		FECHA ABRIL-94
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN CARTI <small>Ing. Ind.: J. R. Perán González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUCE s/n Telf: 983 423358 47011 VALLADOLID</small>		PLANO Nº SOT-08



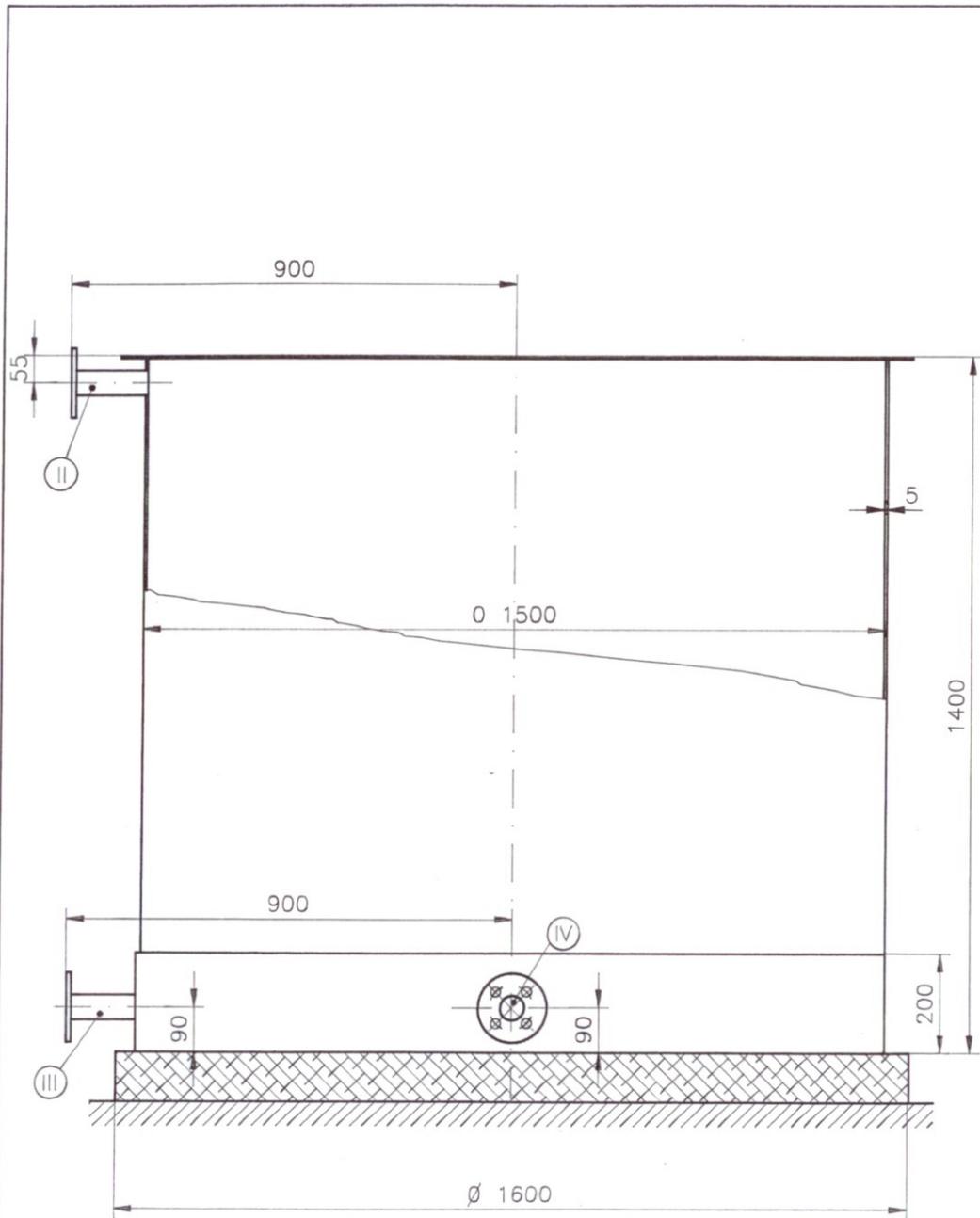
3	TAPON LIMPIEZA ANILLO $\varnothing 45$ 120°	5	INOX.	
1	BRIDA LOCA CADMIADA DN-80	4	INOX.	SALIDA FLOTANTES
1	BRIDA LOCA CADMIADA DN-80	3	INOX.	ALIMENTACION
1	BRIDA LOCA CADMIADA DN-125	2	INOX.	SALIDA LODOS
1	BRIDA LOCA CADMIADA DN-200	1	INOX.	SALIDA AGUA LIMPIA
Nº Piezas	DENOMINACION Y OBSERVACIONES	POS.	MATERIAL	

PROYECTO	DESIGNACION	ESCALA
TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DECANTADOR ESPESADOR DE LODOS	1/100
		FECHA
		ABRIL-94
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION CARTI		PLANO Nº
Ing. Ind.: J. R. Perón González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUCE s.n. Telf: 983 423358 47011 VALLADOLID		SOT-09
ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		

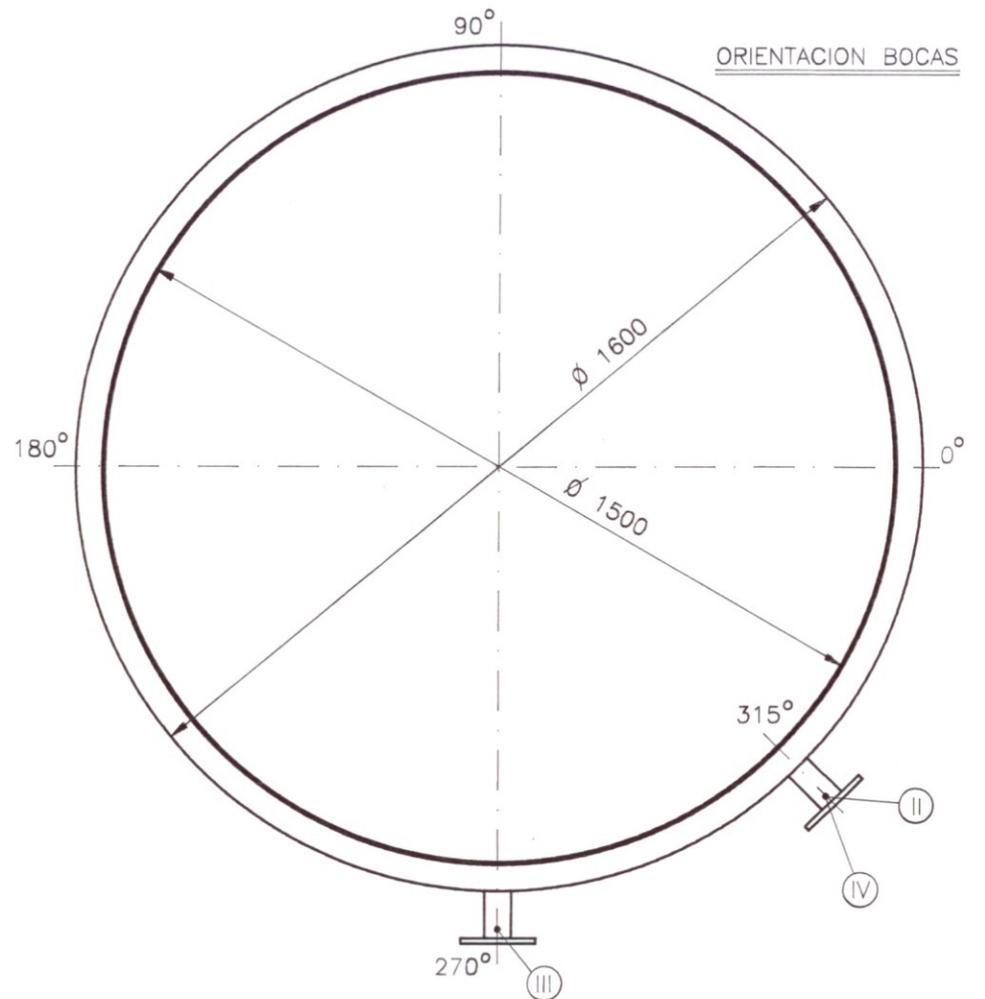


UNIONES SOLDADAS

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION DEPÓSITO DE MEZCLA	PROYECTADO Antonio LARA FERIA Col. 3212 José R. PERAZA GONZALEZ Col. 849	Escala 1/10
CARTIF-UVA CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA, TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION Y FABRICACION. C/ Paseo del Cauce s/n 47011 VALLADOLID Telf: 423000-4416 Fax: 423358	PLANO N ^o SOT-10	Ref. Fecha ABRIL-94	

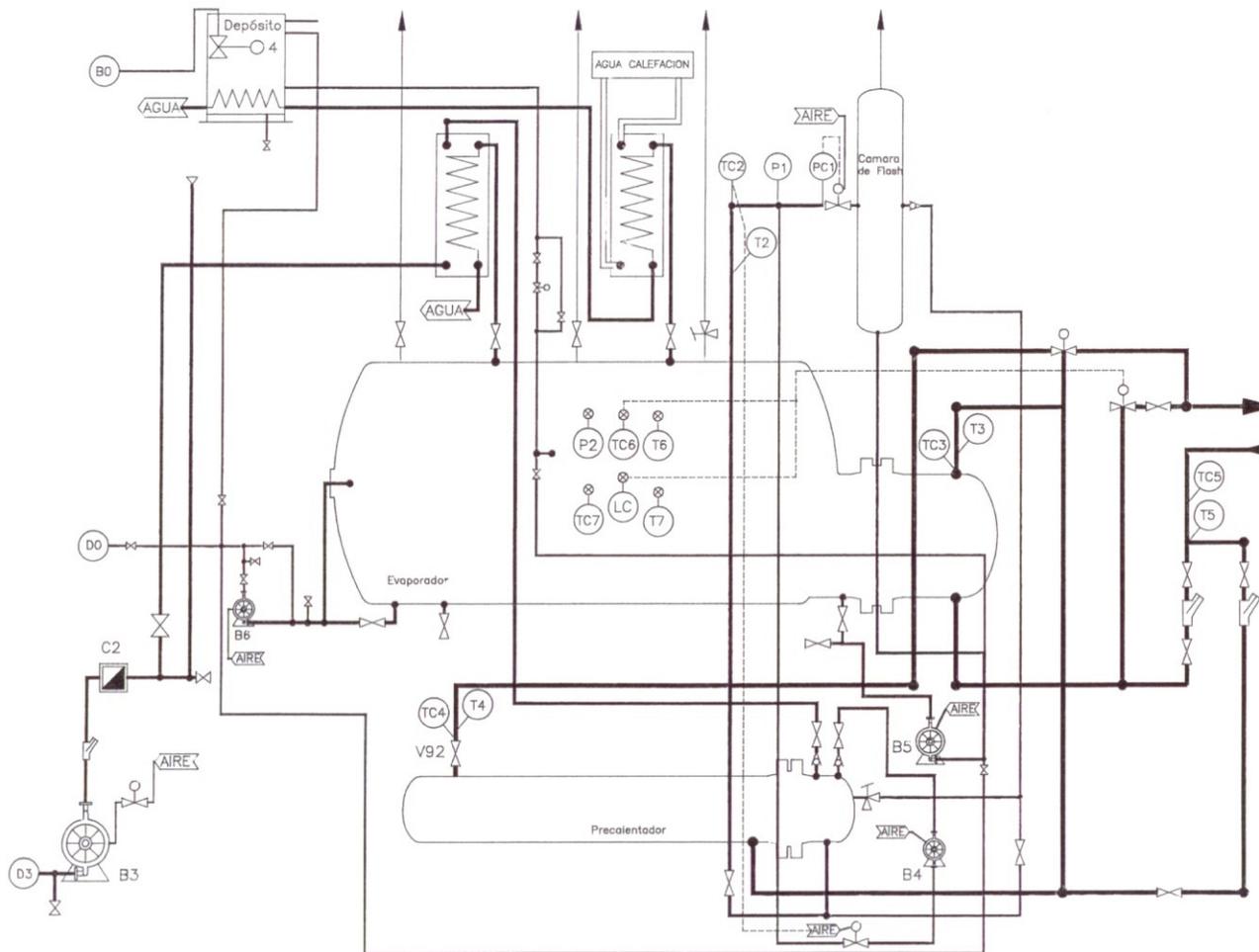


SECCION CONVENCIONAL

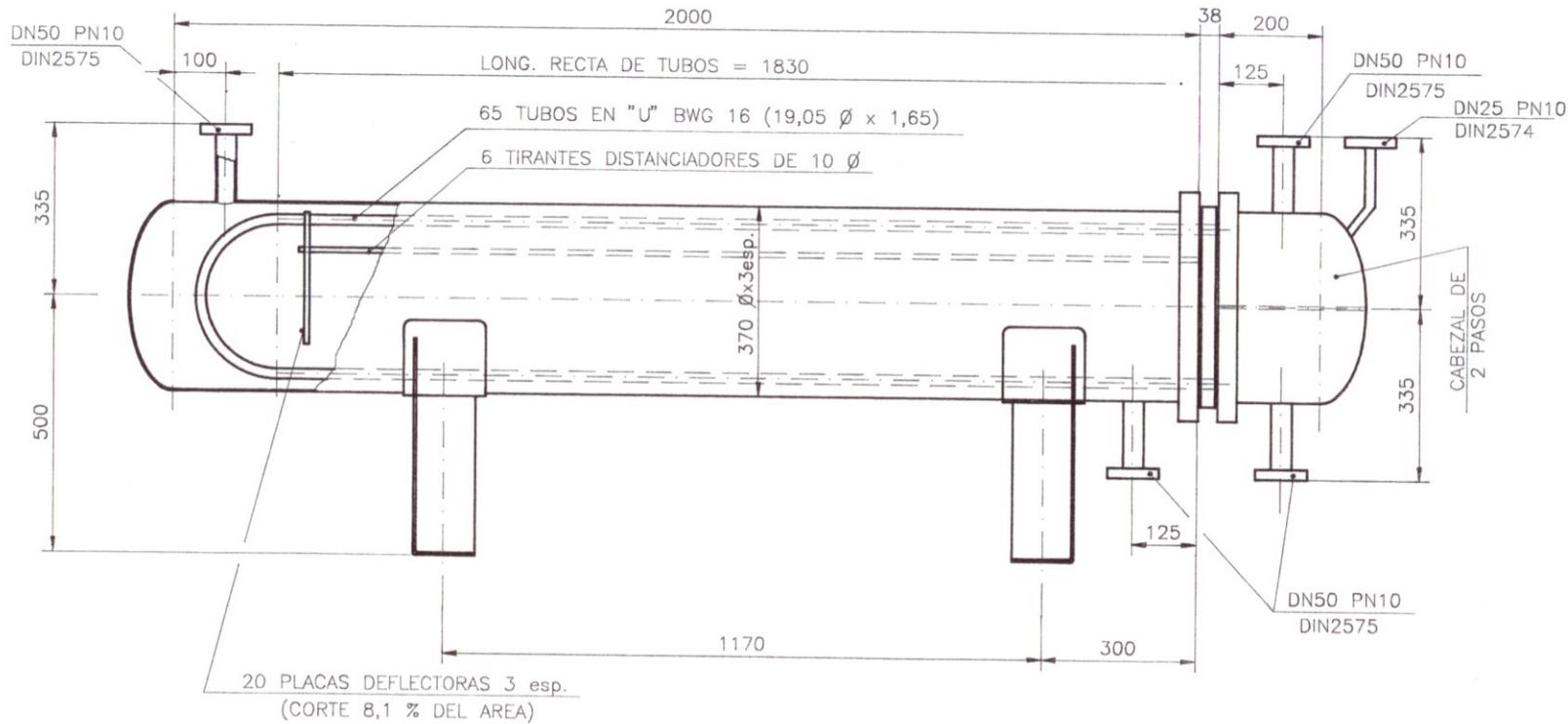


MARCA	DENOMINACION	NO PIEZAS	MATERIAL
II	BOCA REBOSE DN50 DIN2576 PN10	1	AISI-316
III	CONEXION BOMBA DN50 DIN2576 PN10	1	AISI-316
IV	BOCA VACIADO DN50 DIN2576 PN10	1	AISI-316

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION DEPOSITO PULMON DE FANGOS	ESCALA 1/10
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION CARTI		FECHA ABRIL-94
Ing. Ind.: J. R. Perón González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUQUE S.N. Telf: 985-423358 47011 VALLADOLID		PLANO Nº SOT-11
<small>ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</small>		

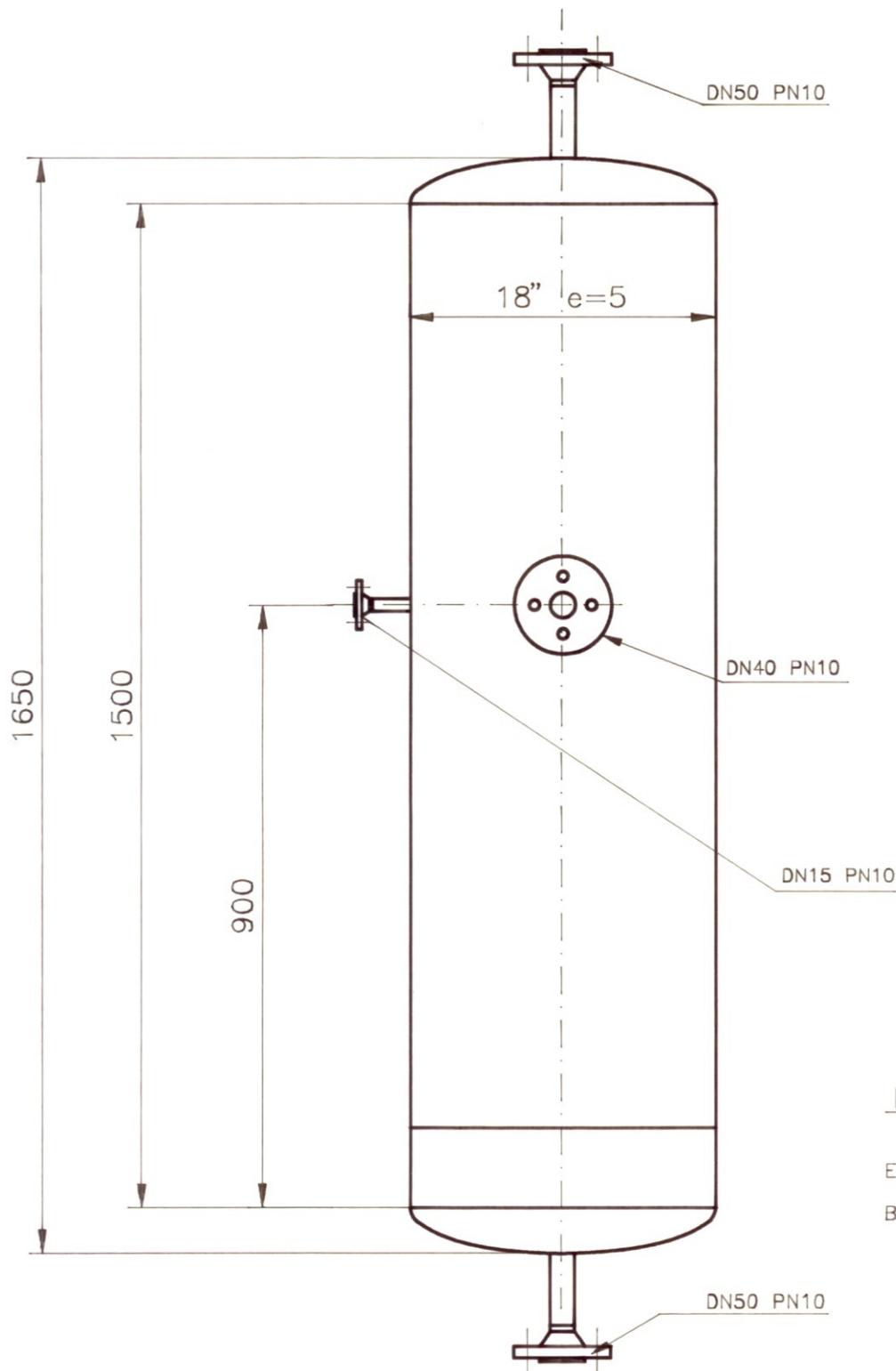


DESIGNACION	ESCALA	DIBUJADO		
	ESQUEMA GENERAL (TRATAMIENTO TERMICO)	COMPROBADO		
		PROYECTADO	<i>[Signature]</i>	
CENTRO DE AUTOMATIZACION, ROBOTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACION. CARTI ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	PLANO N ^o SOT-12			REF.



EN GENERAL	= AISI 304		
BRIDAS PRINCIPALES	= Rst. 37.2		
SOPORTES	= St. 37		
MARCA	DENOMINACION	Nº	PIEZAS

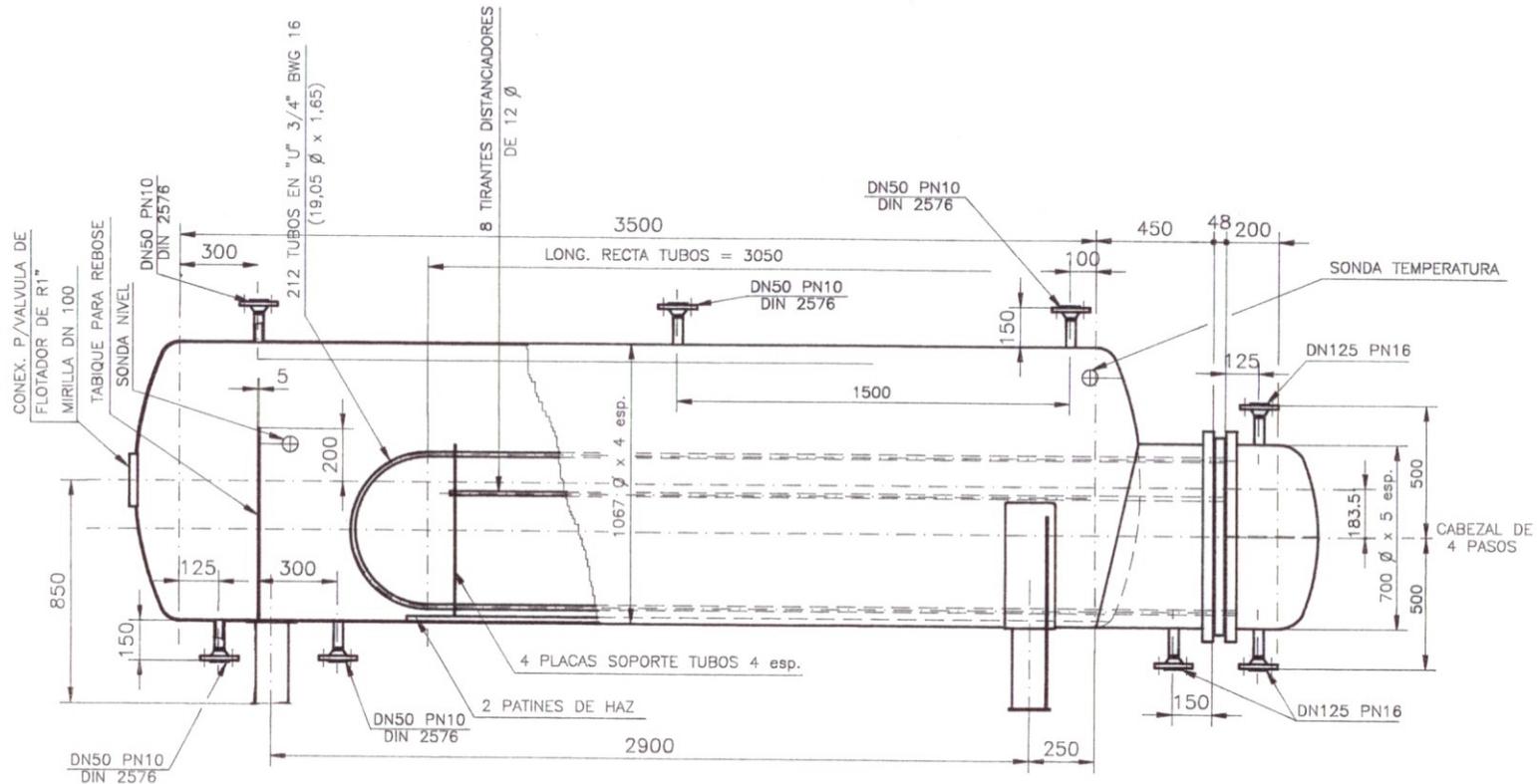
PROYECTO	DESIGNACION	ESCALA
TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	CALENTADOR 15 m ² TIPO BEU	1/10
		FECHA
		ABRIL-94
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CARTI		PLANO Nº
Ing. Ind.: J. R. Perán González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUCE s.m. Telf: 983-423358 47011 VALLADOLID		SOT-13
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		



MATERIAL

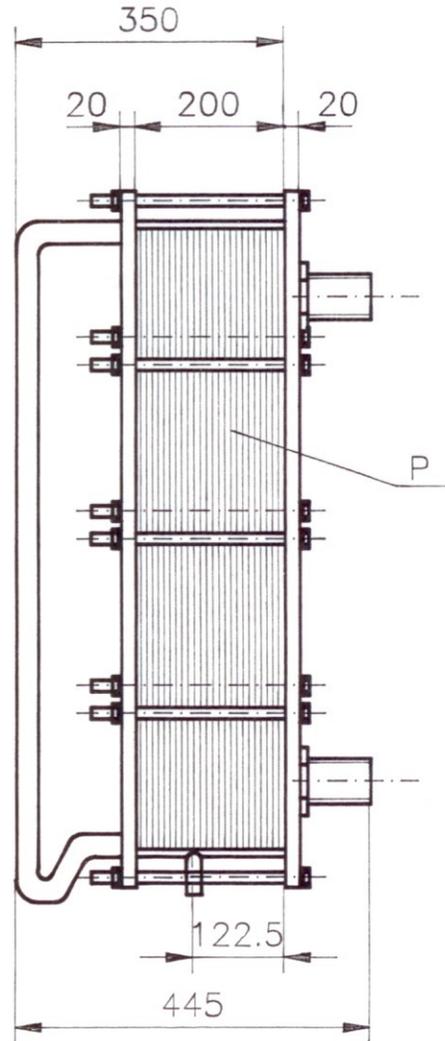
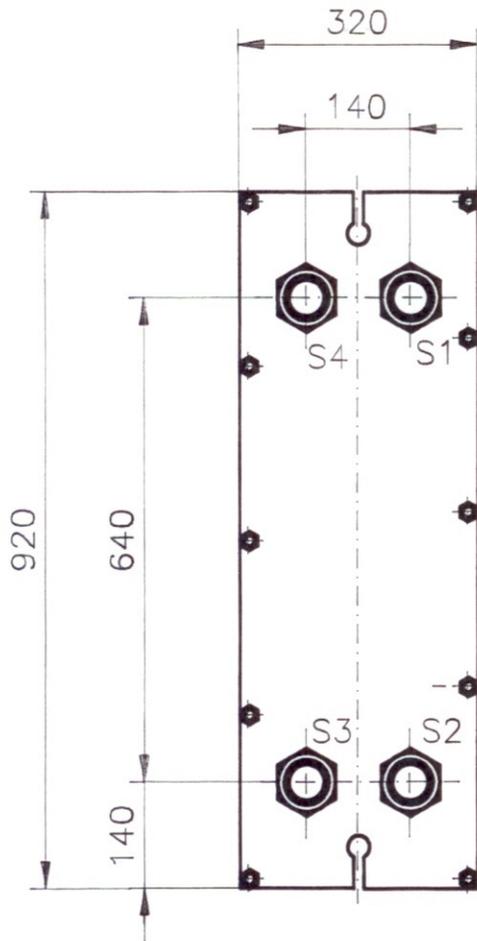
EN GENERAL = AISI 304
BRIDAS CABEZAL = Rst. 37.2

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION CAMARA DE FLASH	ESCALA 1/10
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN CARTI <small>ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</small>		FECHA ABRIL-94
Ing. Ind.: J. R. Perán González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUCE s.n. Telf: 983-425358 47011 VALLADOLID		PLANO N° SOT-14



	EN GENERAL	= AISI 304	
	BRIDAS CABEZAL	= Rst. 37,2	
	SOPORTES	= St. 37	
	TORNILLERIA EXT.	= 5.6/5	
	JUNTAS	= KLINGERIT	
MARCA	DENOMINACION		Nº PIEZAS

PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION EVAPORADOR 82 m ² TIPO BKU	ESCALA 1/20
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CARTI		FECHA ABRIL-94
Ing. Ind.: J. R. Perán González Col. 849 C/ PASEO DEL CAUCE 300. Telf: 983-423358 47011 VALLADOLID		PLANO Nº SOT-15
ESCUELA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		

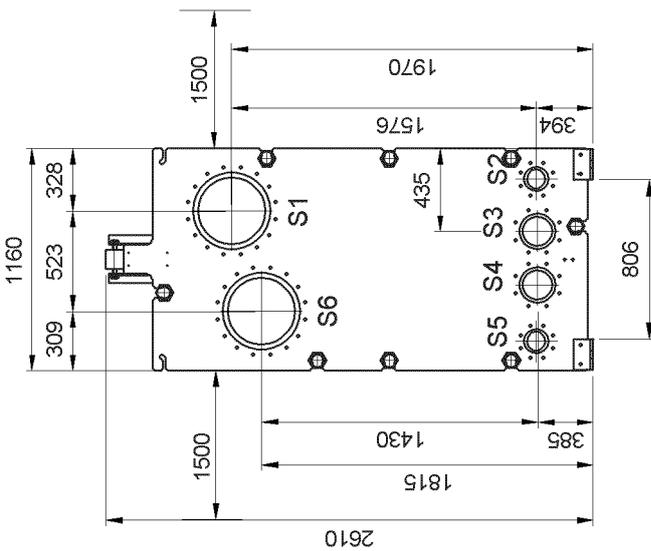


P	PLACAS e=50	AISI-316	12/19	
S1	ENTRADA (VAPOR)	AISI-316	1	ROSCA GAS 1 1/4"
S2	SALIDA (VAPOR)	AISI-316	1	ROSCA GAS 1 1/4"
S3	ENTRADA (AGUA)	AISI-316	1	ROSCA GAS 1 1/4"
S4	SALIDA (AGUA)	AISI-316	1	ROSCA GAS 1 1/4"
MARCA	DENOMINACION		Nº PIEZAS	

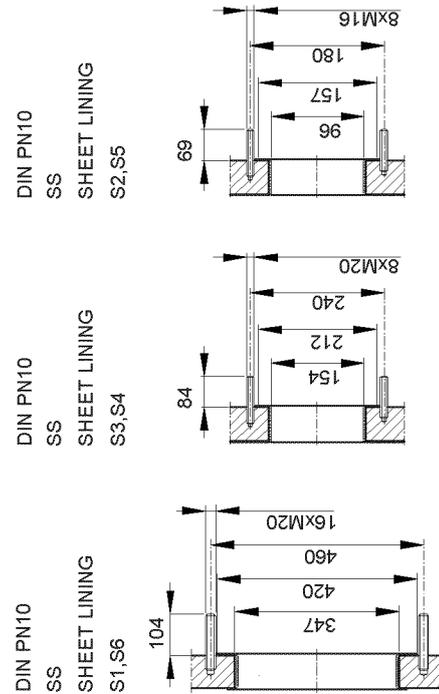
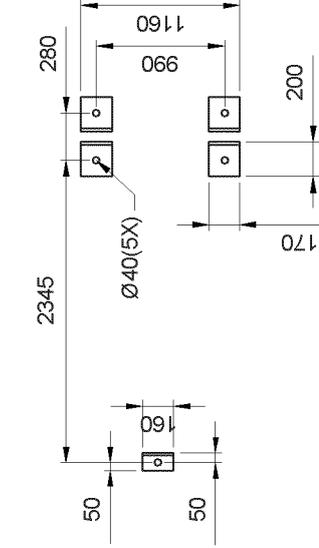
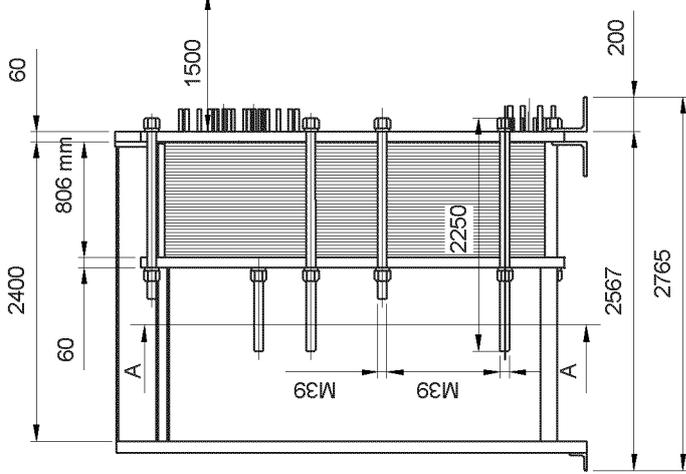
PROYECTO TRATAMIENTO INTEGRAL DE ALPECHINES SOTOSERRANO (SALAMANCA)	DESIGNACION INTERCAMBIADOR DE PLACAS CONTRACORRIENTE 120º	ESCALA 1/10
		FECHA ABRIL-94
CENTRO DE AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN CARTI		PLANO Nº SOT-16
ESCUOLA TECNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES UNIVERSIDAD DE VALLADOLID		Ing. Ind.: J. R. Perán González Col. 849 C/ PASEO DEL CALIZO S/N Tel: 983-423358 47011 VALLADOLID

21312 N FOUNDATION LOADS 32712 N

FRAME PLATE (FIXED)



PRESSURE PLATE (MOVABLE)
(SECTION A-A)



REMARKS	SIDE1	SIDE2	GASKET	NBRP CLIP-ON
TEST PRESSURE	3,9 bar	3,9 bar	PLATE MATERIAL	ALLOY 316
DESIGN PRESSURE	3 bar	3 bar	PLATE THICKNESS	0.60 mm
MIN DESIGN PRESSURE	0 bar	0 bar	HEATING SURFACE	161 m ²
MAX TEMPERATURE	75 °C	75 °C	PLATE GROUPING	1*62LW/1*61LG
MIN TEMPERATURE	0 °C	0 °C	OPERATING WEIGHT	4129 kg
NETWEIGHT	3773 kg			

TOTAL LENGTH	2765
TOTAL WIDTH	1160
TOTAL HEIGHT	2610

SIDE	MEDIA	F.D.G.	INLET	TEMP.	OUTLET	TEMP.	FLOW RATE	PRESSURE DROP	LIQUID VOL.
1	Water-Steam	2	S1	71.0 °C	S2,S5	71.0 °C	0.4213 kg/s	0.1630 kPa	596 l
2	Black Water 12%	2	S3,S4	65.0 °C	S6	65.0 °C	4.167 kg/s	4.886 kPa	587 l

ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS

SUPPLIER OM SP	REF. T672261-10	ITEM NO.
AGENT/REF. 31401.27131 Cartif Evap		
CUSTOMER NAME / REF. NO. Cartif / 31401.27131		
SIGN. HST	RISKCATEGORY N/A	

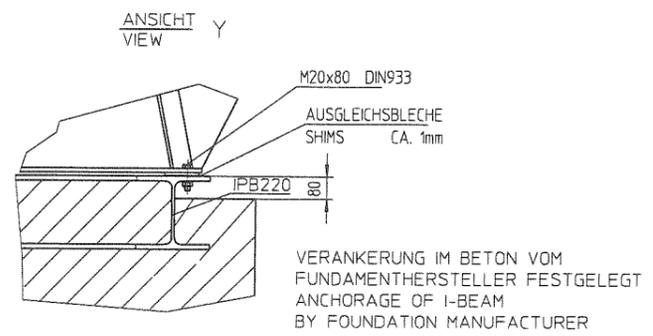
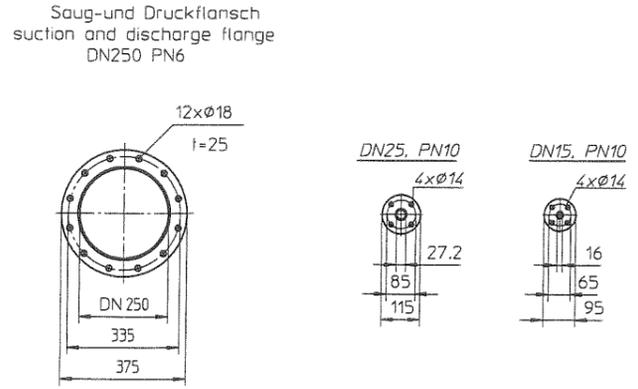
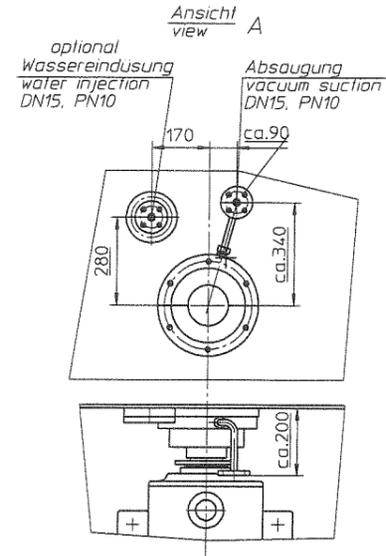
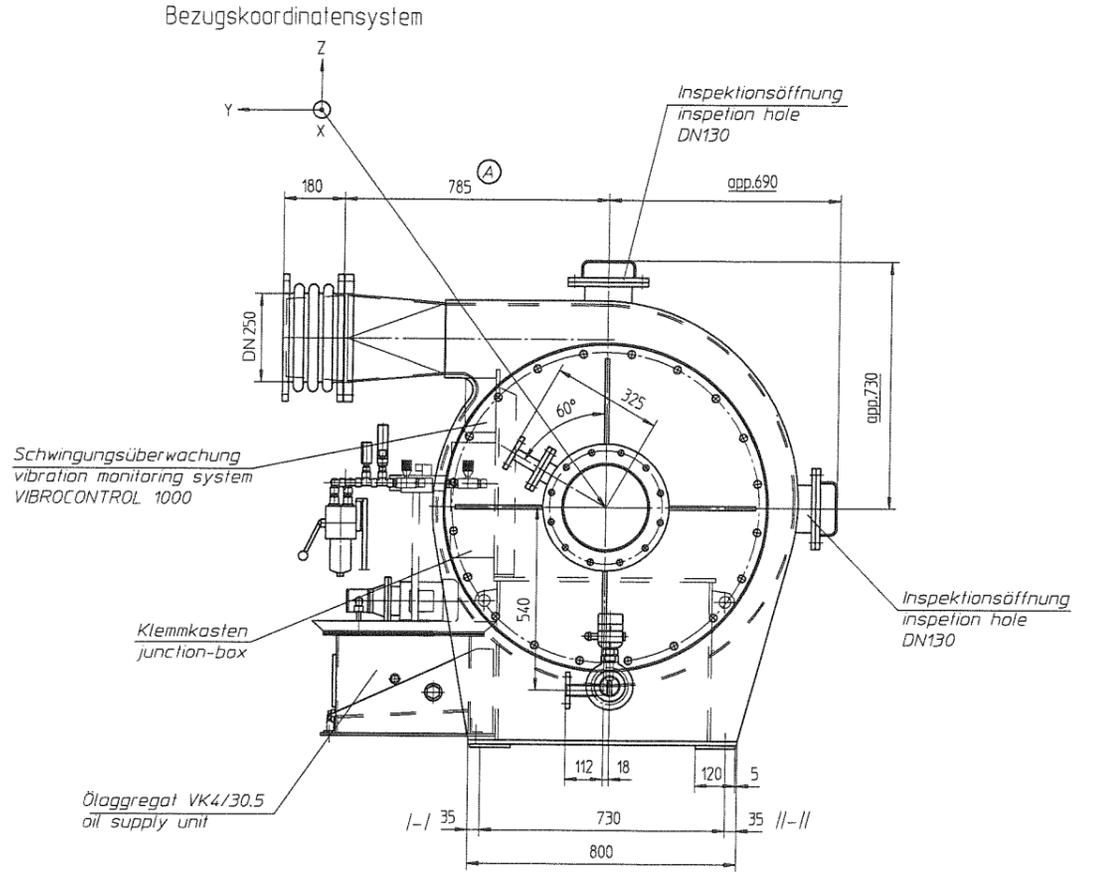
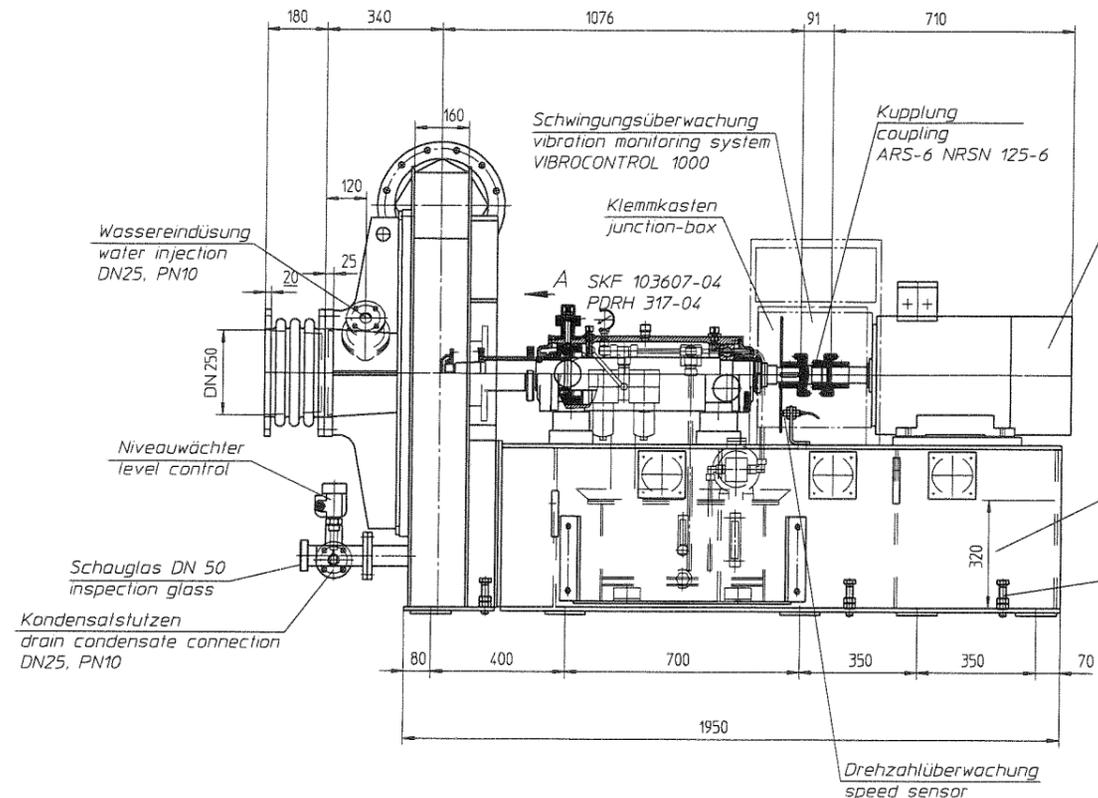
PLATE HEAT EXCHANGER

AlfaVap 350-TFE

PED



SERIALNO 30106-13503	
DATE 2007-06-15	REV No. 1



	F	M
X	± 1600 N	± 380 Nm
Y	± 1600 N	± 380 Nm
Z	± 1600 N	± 380 Nm

Gesamtmass mit Motor ohne Ausguss total mass with motor without filling	2150	kg
Masse Sandfüllung im Anlagel mass sand filling (at plant)	700	kg
rotierende Masse Ventilator rotary mass fan	125	kg
rotierende Masse Motor rotary mass motor	340	kg
Betriebsdrehzahl Ventilator operating speed fan	6421	1/min
Betriebsdrehzahl Motor operating speed motor	6421	1/min
Motorleistung rated output	37	kW

ZULAESSIGE BELASTUNG AN SAUG-UND DRUCKSTUTZEN
DURCH ELASTISCHE RUECKSTELLKRAEFTE
ALLOWABLE LOAD AT INLET AND DISCHARGE NOZZLE
BY FLEXIBLE COMPENSATOR RESTORING FORCES

Belastungsangaben nach DIN 4024 Teil 1 und 2 / loading assumption

Lastfall load case	STATISCHE KRAEFTE / STATIC FORCES			DYNAMISCHE KRAEFTE / DYNAMIC FORCES			
	Eigengewicht structural weight (without sandfilling)	Eigengewicht des Motors structural weight of motor	Eigengewicht der rot. Komponenten structural weight of rotary components	Nennmoment rated torque	Unwuchtkraft Betrieb / Störfall normal / interference	Anfahrmoment starting torque	Kurzschluß- moment short circuit torque
I - I	-10.4	-0.8	-1	0.08	+0.4/+2.3	+0.4/+2.3	-0.5
II - II	-10.4	-0.8	-1	0.08	+0.4/+2.3	+0.4/+2.3	0.5

Auftraggeber / Customer: ALFA LAVAL

Ersterverwendung / First application: 40701831

Zachnungs-Nr./des Auftraggebers: 2007

Datum: 31.07.2007

Name: WW

Zeichnungs-Nr./des Entwurfs: 3107

Name: WW

Objekt-Nr.: 25570 KKKGAE 80200 GR90

Formel-Nr.: 1

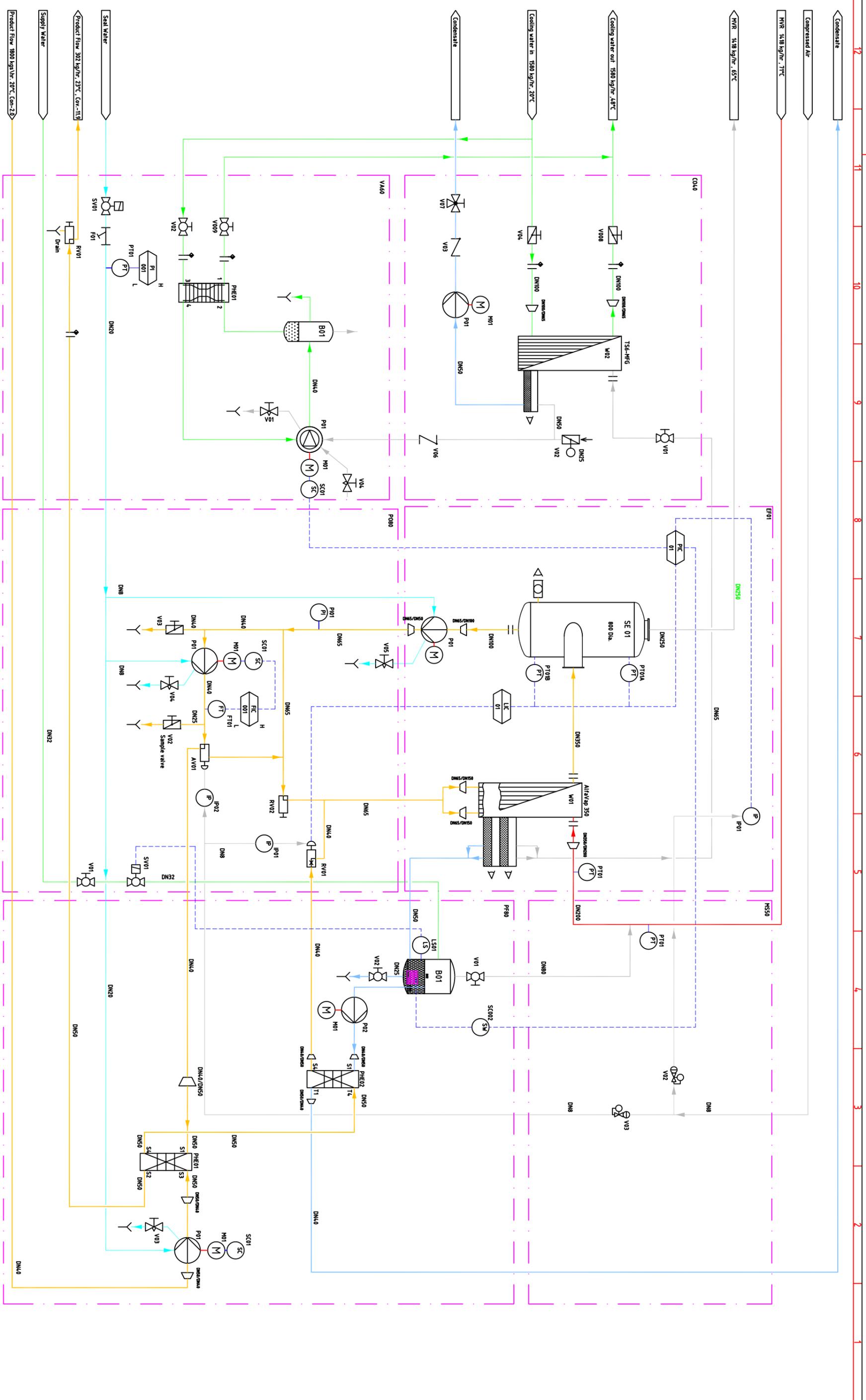
Objekt-Nr.: 59.5.14.0114

Erst- / Ers. dt. in lieu of:

MASSBLATT

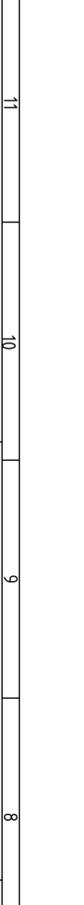
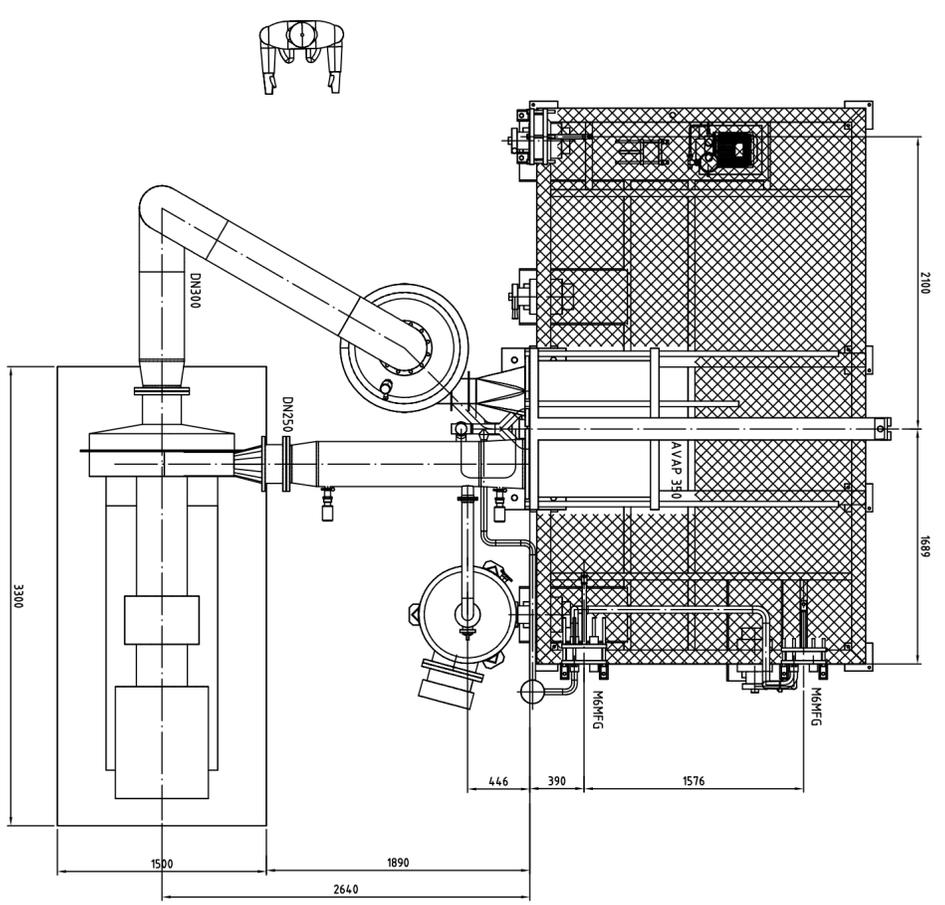
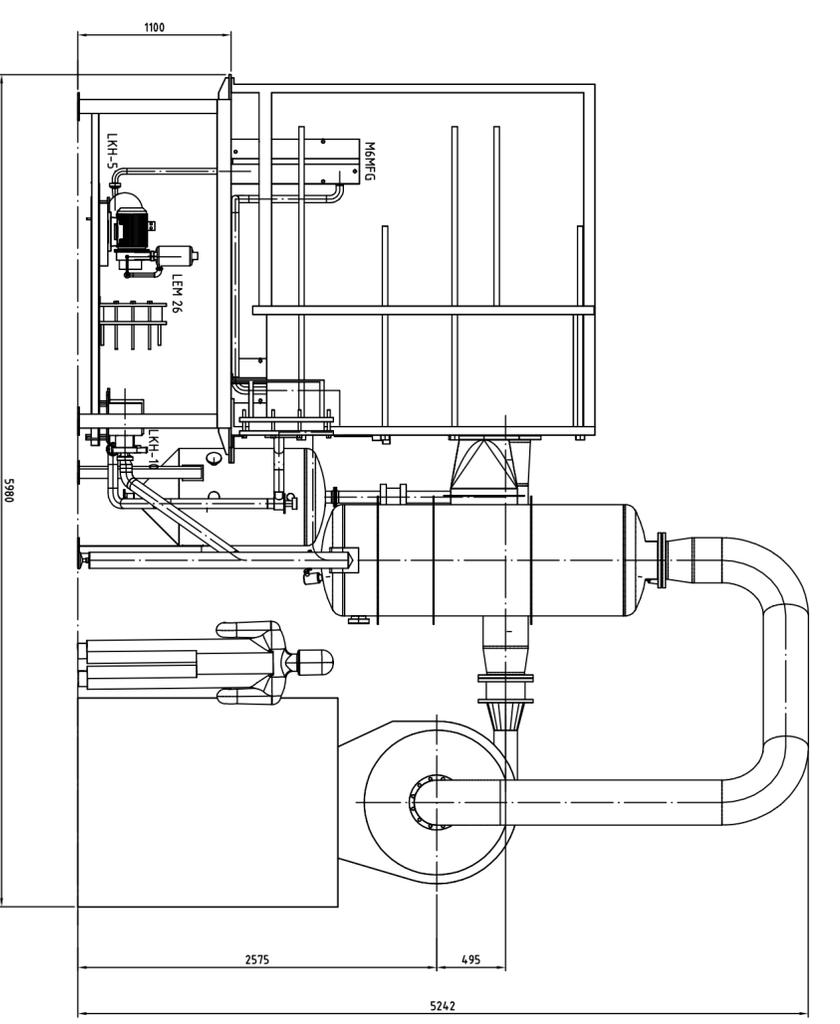
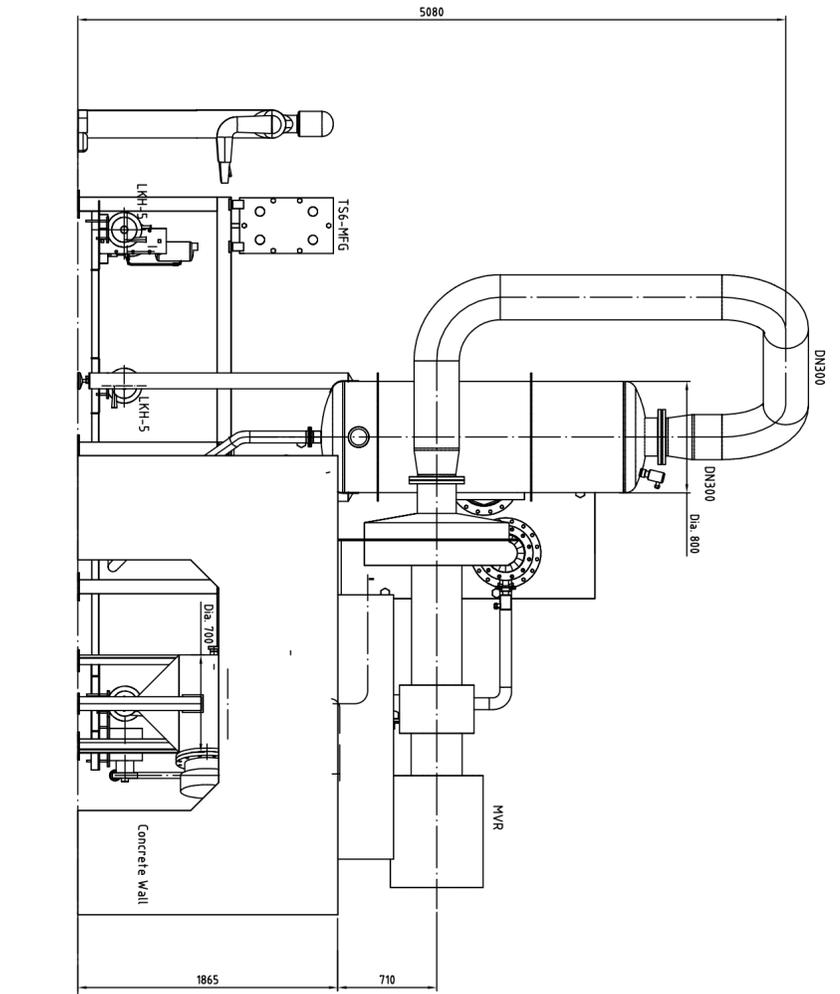
GA-DRAWING

PILLER



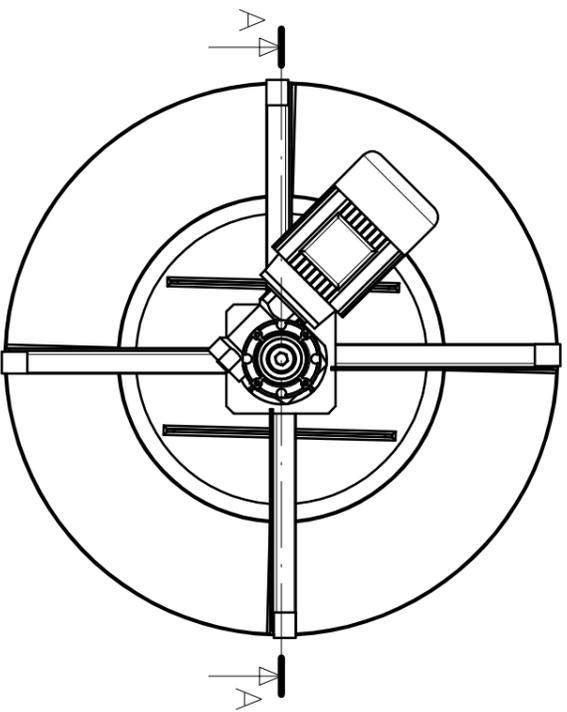
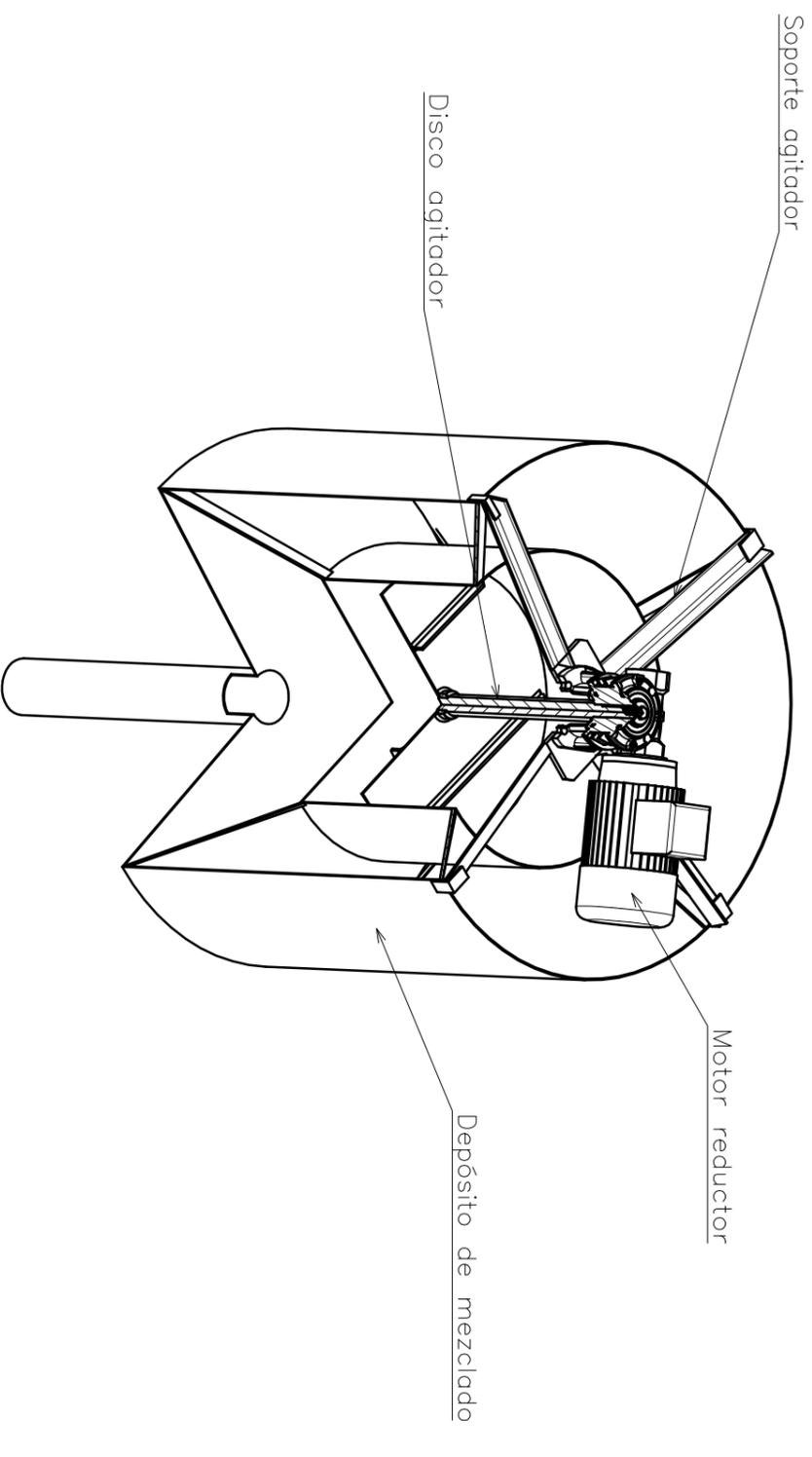
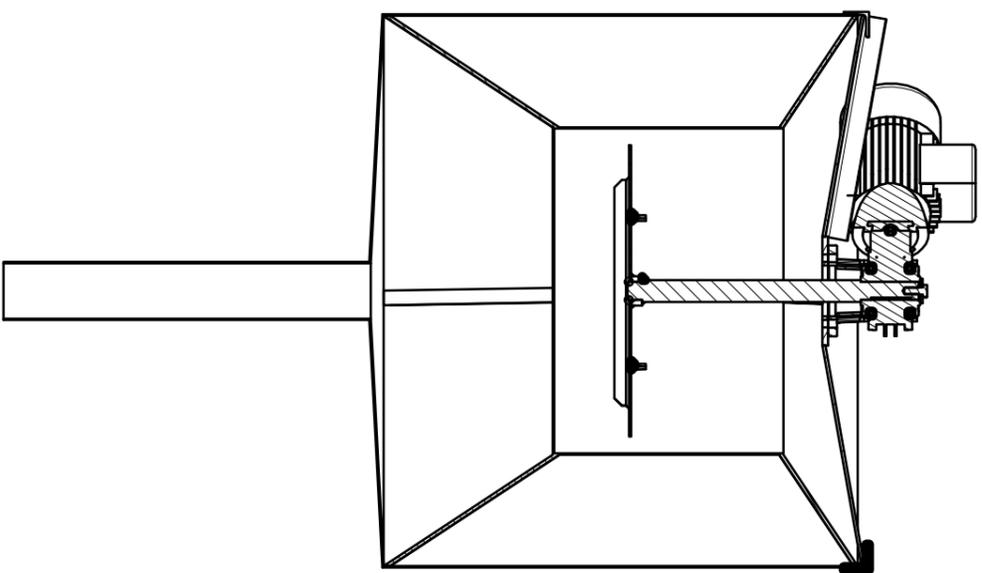
<p>Pressure Indicator & Control</p> <p>Motor</p> <p>Speed Controller</p> <p>Flow transmitter</p>	<p>Pressure Indicator & Control</p> <p>Rotary Lobe Pump</p> <p>Centrifugal Pump</p> <p>Concentric Reducer</p>	<p>Vacuum Pump</p> <p>Needle valve</p> <p>Butterfly Valve (Actuator)</p> <p>Regulating Valve</p>	<p>Seat Valve</p> <p>Ball Valve</p> <p>Supply Air unit</p> <p>Check Valve</p>	<p>Back Pressure Valve</p> <p>Air Level</p> <p>Supply Valve</p> <p>Customer</p>
--	---	--	---	---

Rev	Revision text	Date	Drawn	Checked	Appr.
1					
<p>P&ID Diagram for Altavap 1500 Kg/h Single stage with MVR</p>					
Proj. No	314.01.27131	Proj. Name	Cariff Spain	Location	Altavap Copenhagen A/S
Dimension	ISO 2768-M	Scale	A1	Drawing No	9660000054.00
Date	05.06.2007	Method	E	Sheet	1/1
Drawn	ADPOVSK	Appr.	CLA	Impssp	



Rev No	Revision text	Date	Drawn	Checked	Appr.

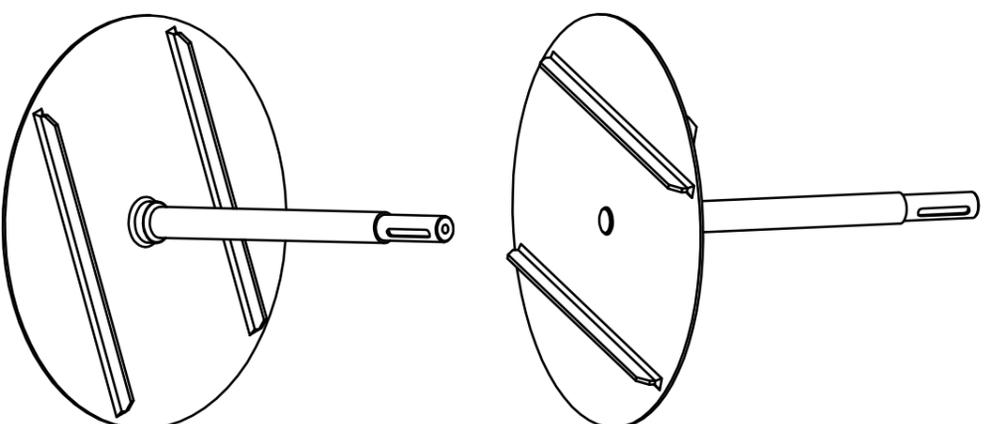
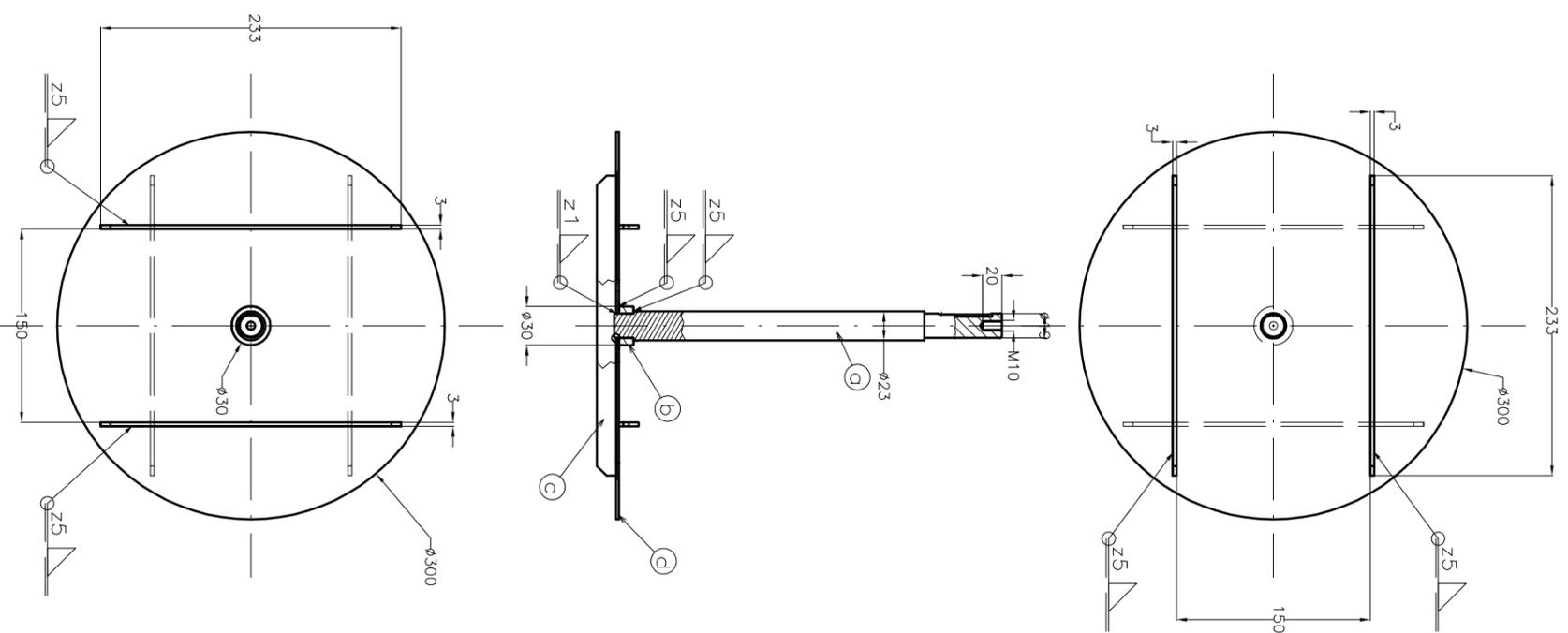
Assembly layout Single stage with MVR		Location Alfa Laval Copenhagen A/S
Proj. No 314.01.27131 BVP	Proj. Type Cartrif Spain	Drawing No 9660000076100
Dimensions without tolerances: ISO 13920-B, ISO 2768-M	Size A1	Rev 001
Date 06.07.2007	Drawn IMPOVSK	Scale 1:25
Checked Imposs	Approved discola	Sheet 001



PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	MONTAJE AGITADOR	A. Lara Feria	
	PLANO Nº	OLIV-BAE-AGIT-01	Ref.
			Fecha
			Feb-09



CARTIF



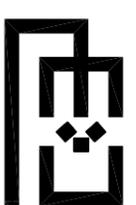
Elem.	Ctidad.	Dimensión	Material
a	1	Partir de eje $\phi 30\text{mm}$ y longitud 400mm Escala: 1:5	AISI 304
b	1	Partir de eje $\phi 40\text{mm}$ y longitud 15mm Escala: 1:1	AISI 304
c	4	Partir de pletina de 310x20x4mm Escala: 1:4	AISI 304
d	1	Partir de placa de 400x400x3mm Escala: 1:10	AISI 304

PROYECTO
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN

DESIGNACION
DISCO AGITADOR

PROYECTADO
A. Lara Feria

Escala
1/10



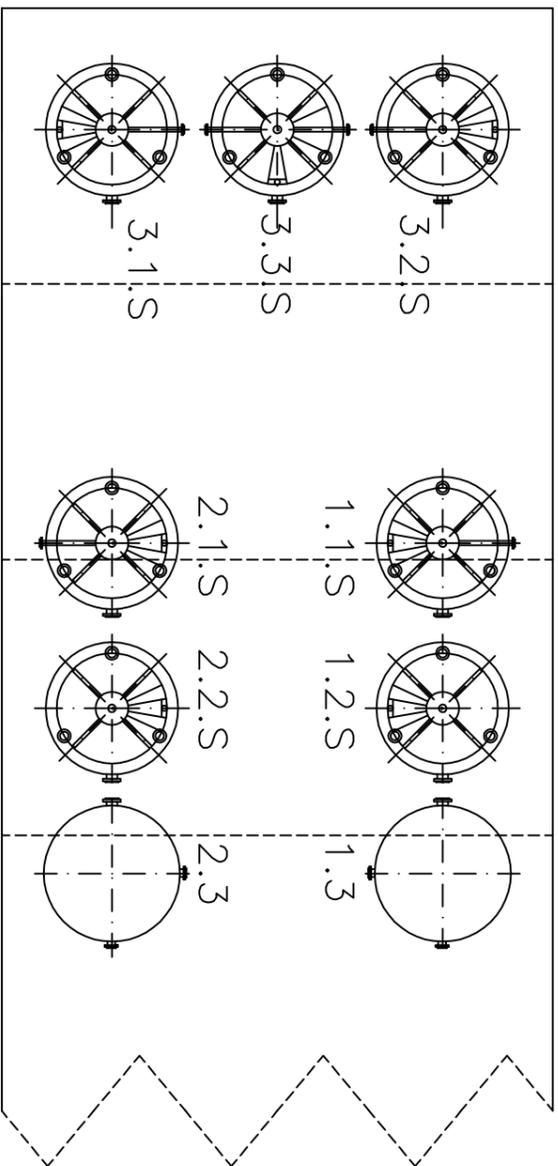
CARTIF

PLANO N^o

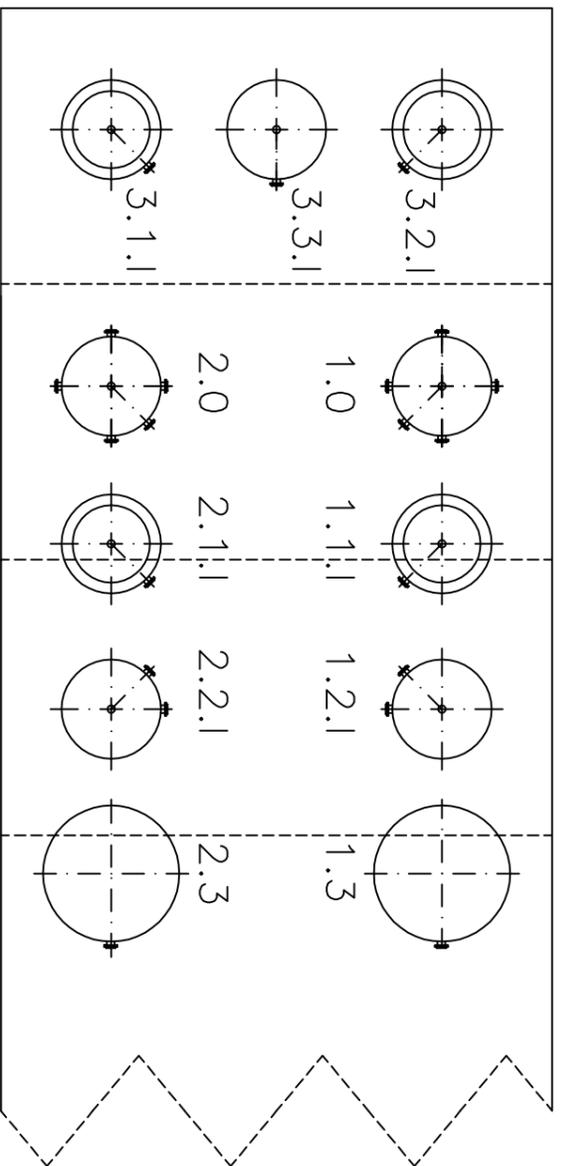
OLIV-BAE-AGIT-02

Ref.

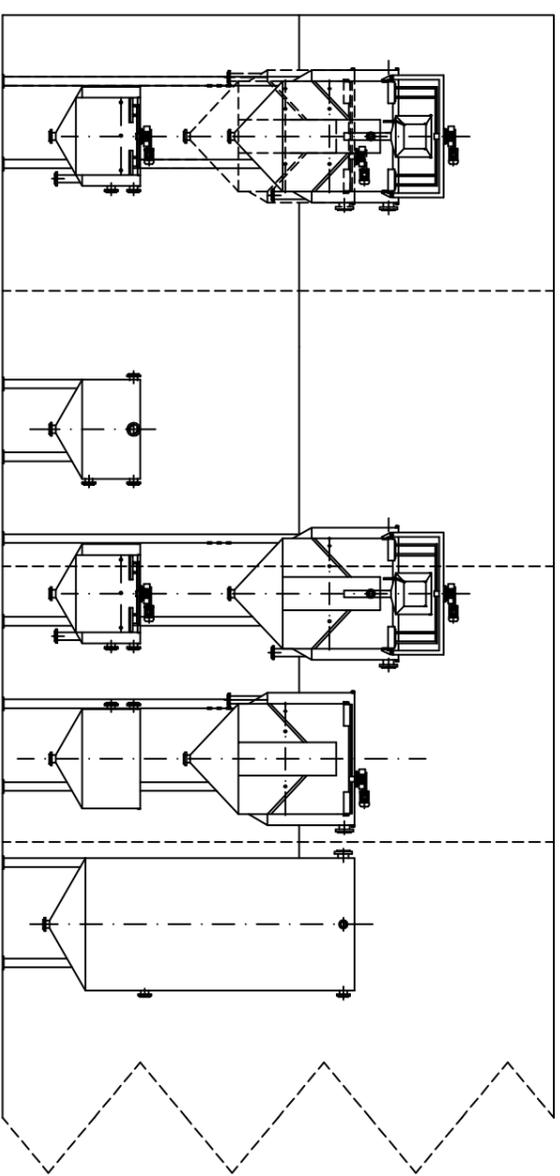
Fecha
Feb-09



PLANTA SUPERIOR



PLANTA INFERIOR



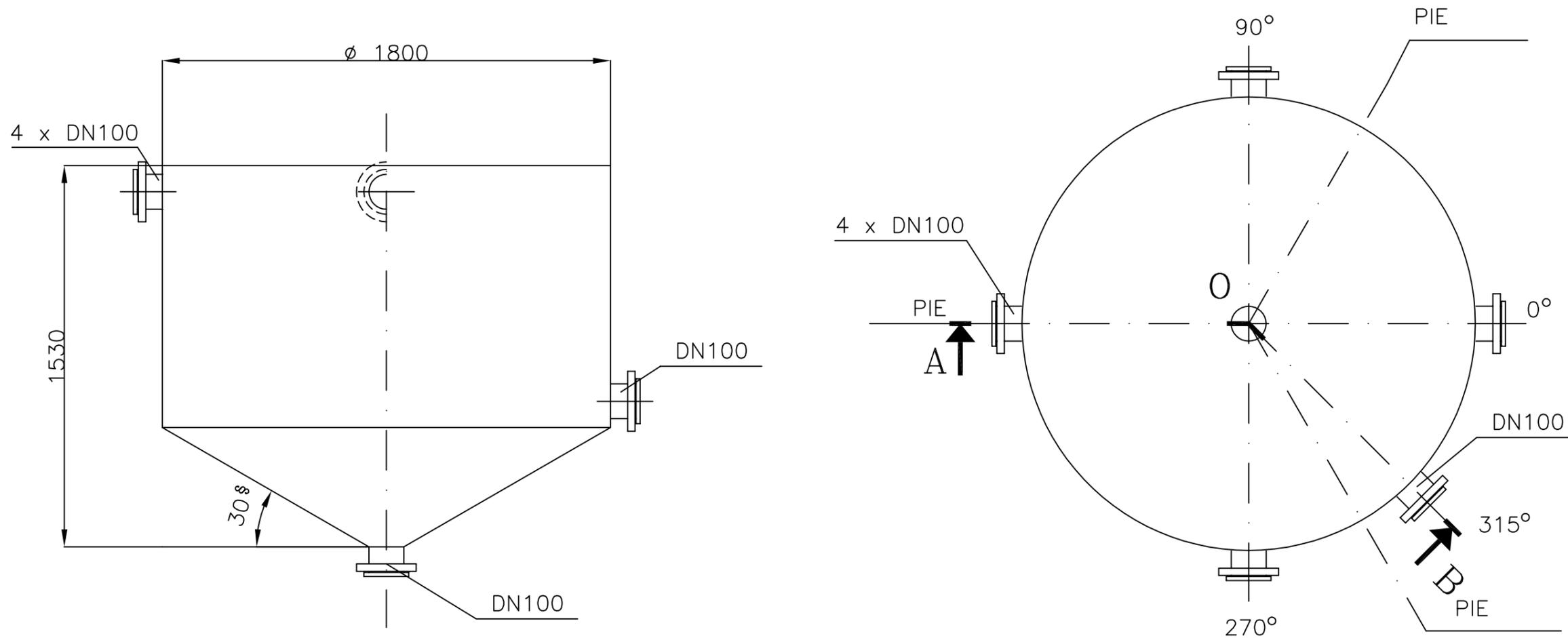
PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	ESQUEMA MONTAJE	A. Lara Feria	3/400

PLANO Nº	Ref.
OLIV-BAE-DEC-01	Fecha



CARTIF

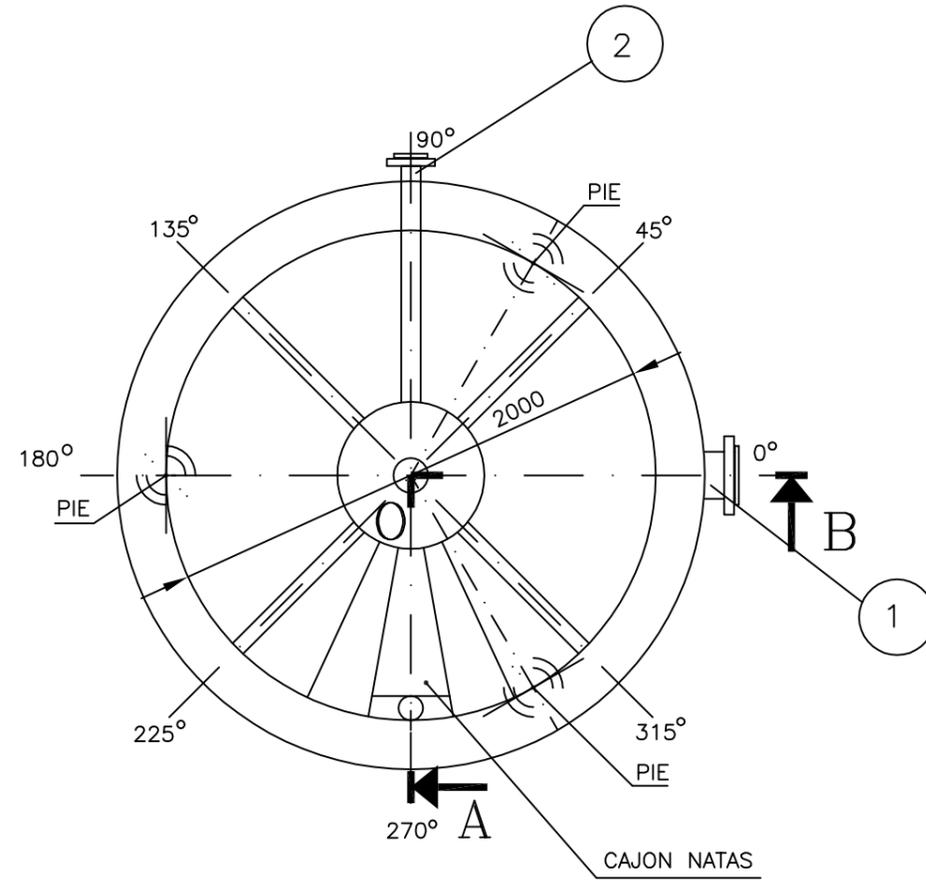
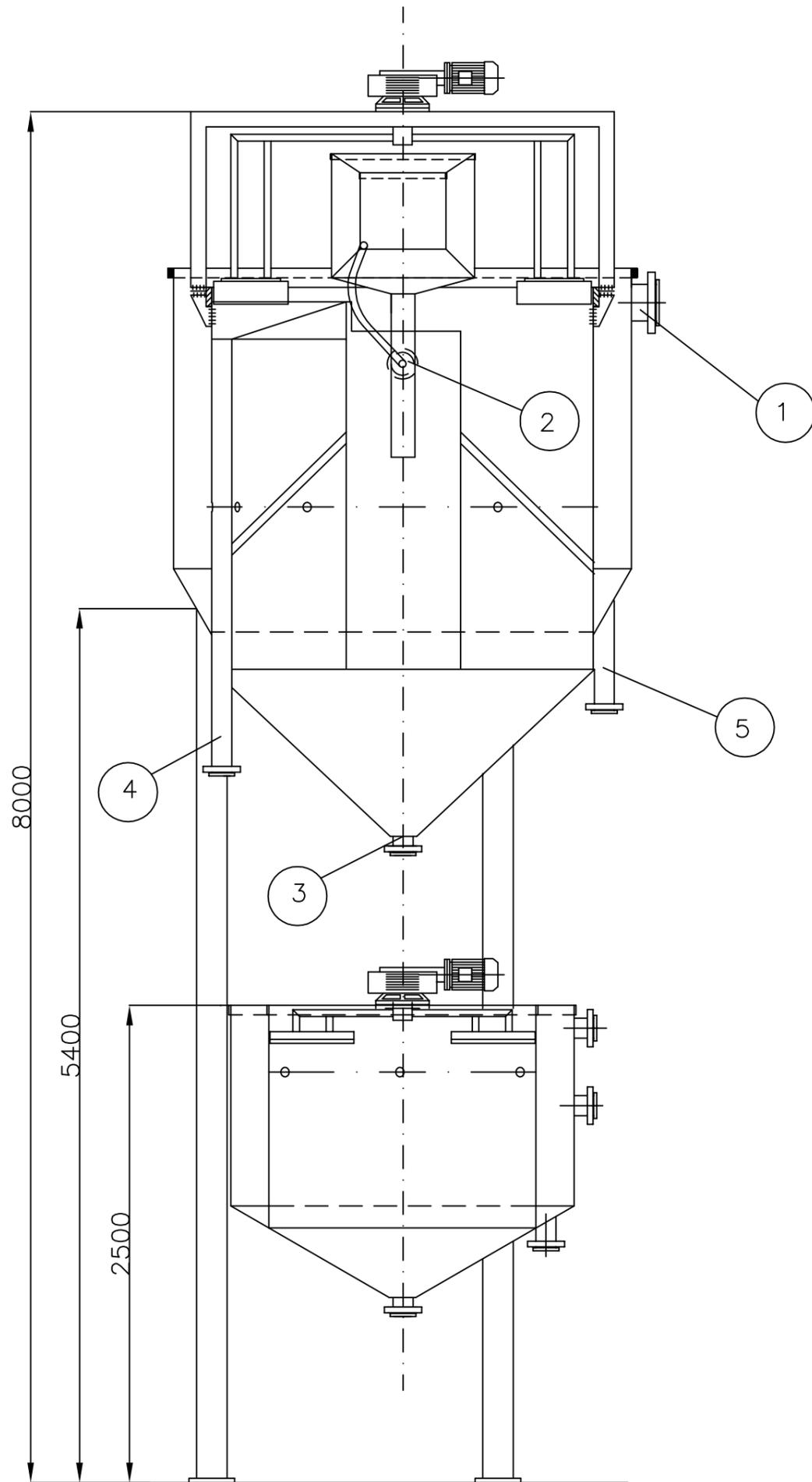
CORTE AOB



La altura de las patas igual a la de la parte inferior de los otros decantadores.

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.0	A. Lara Feria	1/20
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-02	Fecha Ene-09

CORTE AOB

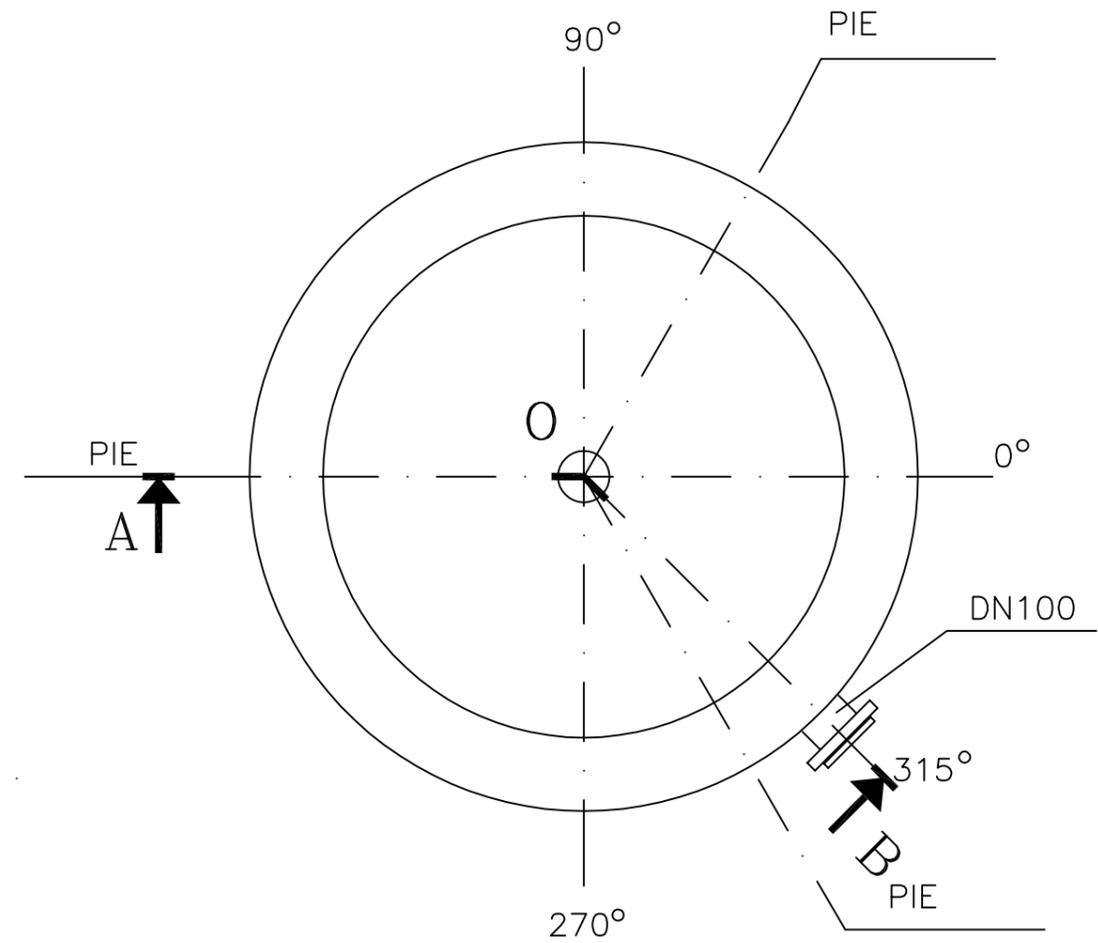
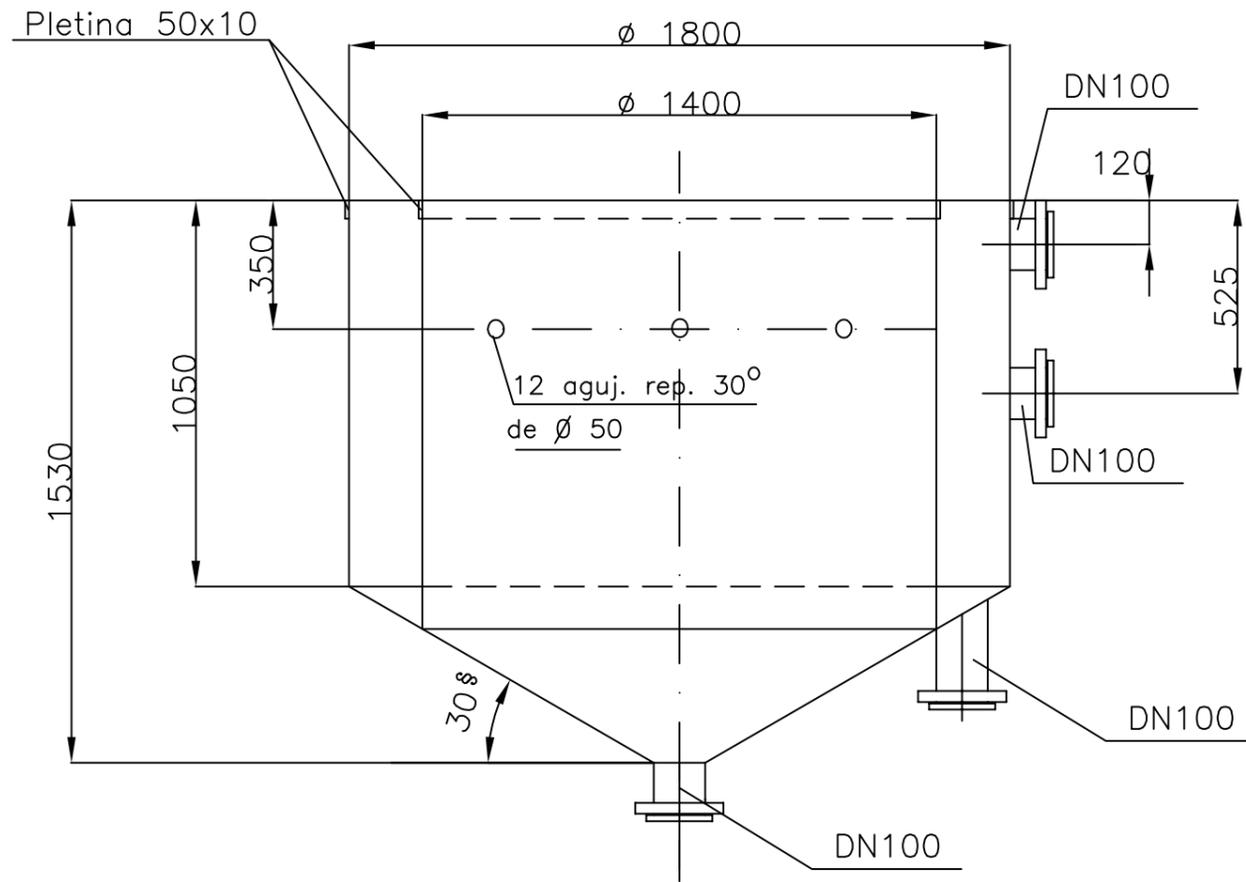


MATERIAL AISI 304

- 1 SALIDA LIQUIDO LIMPIO
- 2 ENTRADA ALPECHIN
- 3 SALIDA SOLIDOS
- 4 SALIDA NATAS
- 5 SALIDA LIMPIEZA

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.1	A. Lara Feria	1/30
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-04	Fecha Ene-09

CORTE AOB

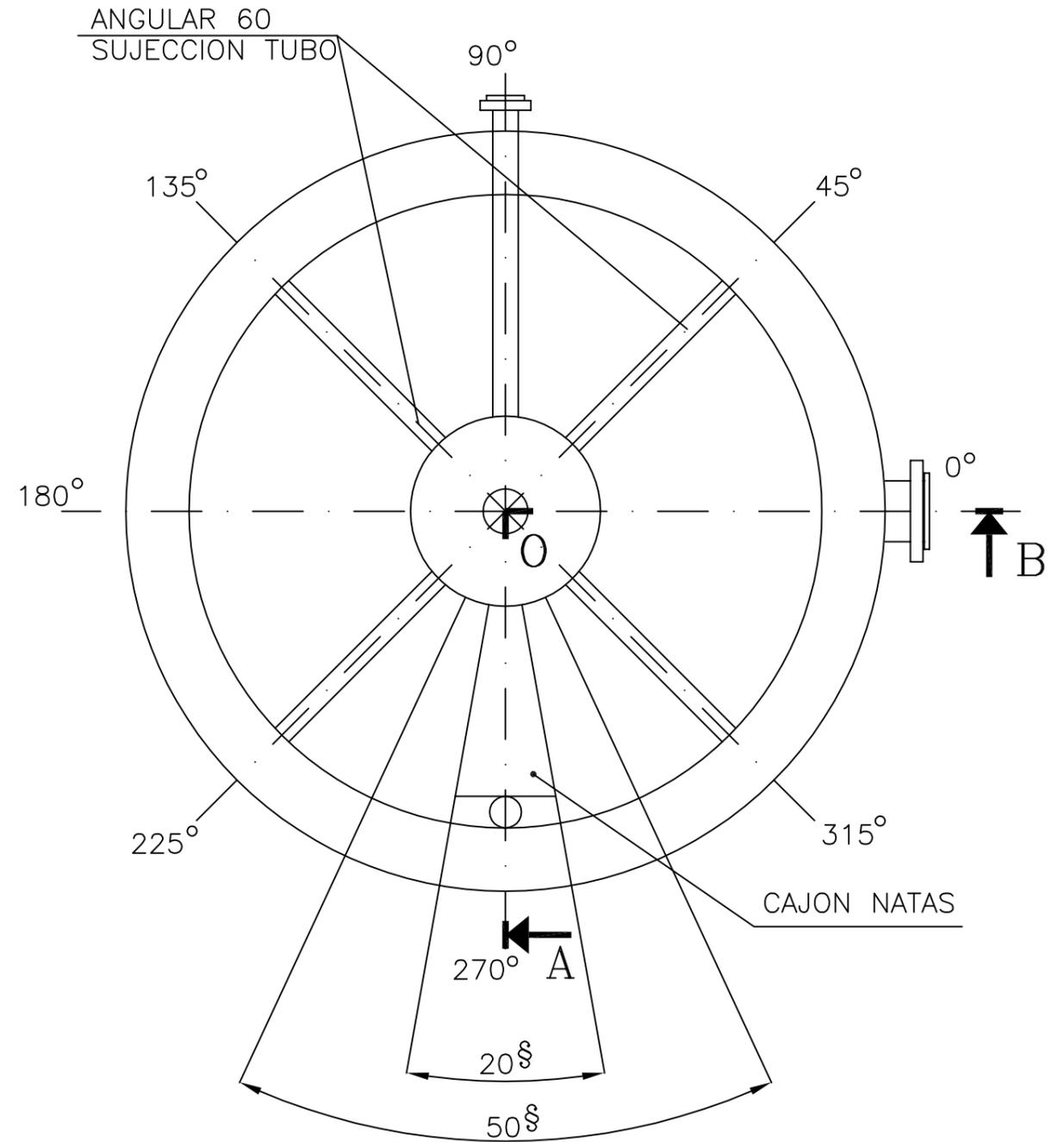
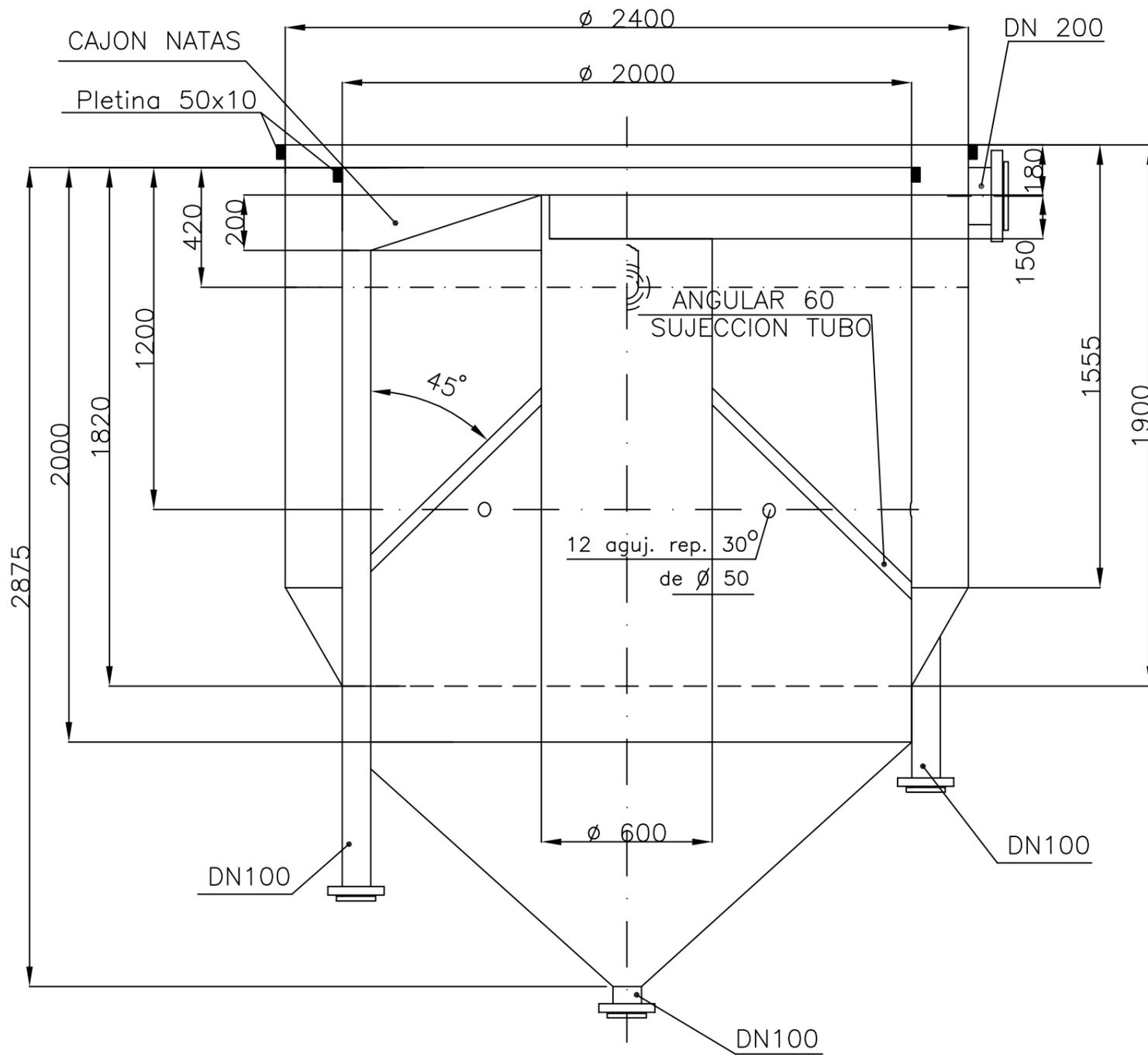


UNIONES SOLDADAS

ESPESOR 3

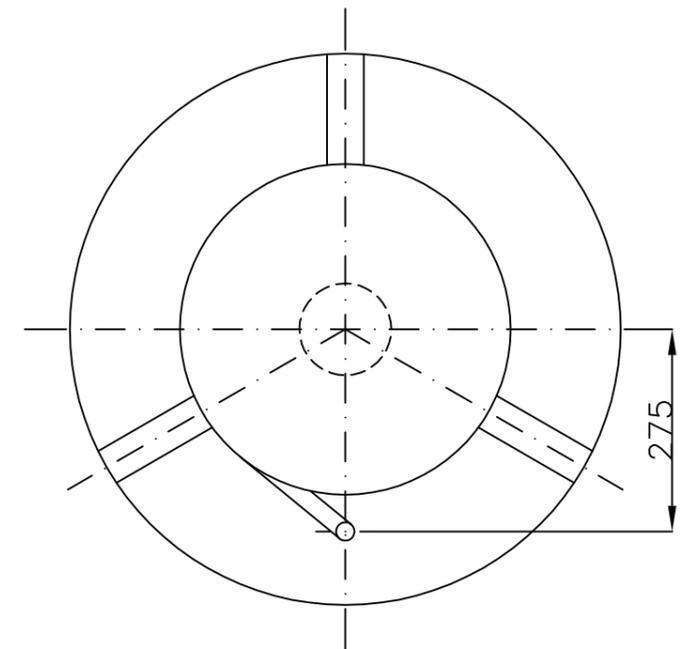
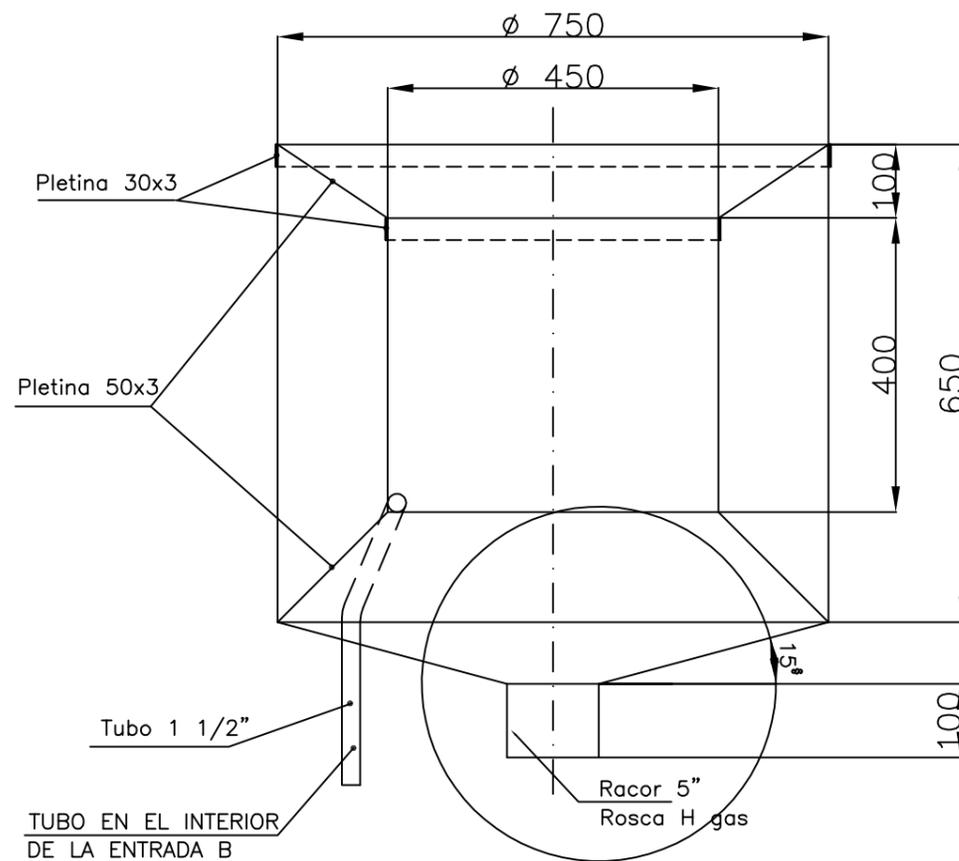
PROYECTO PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DESIGNACION DECANTADOR 1.1.I	PROYECTADO A. Lara Feria	Escala 1/20
 CARTIF		PLANO N ^o OLIV-BAE-DEC-05	Ref. Fecha Ene-09

CORTE AOB



UNIONES SOLDADAS
 ESPESOR 3 mm
 MATERIAL AISI-304

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.1.S	A. Lara Feria	1/20
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-06	Fecha
			Ene-09

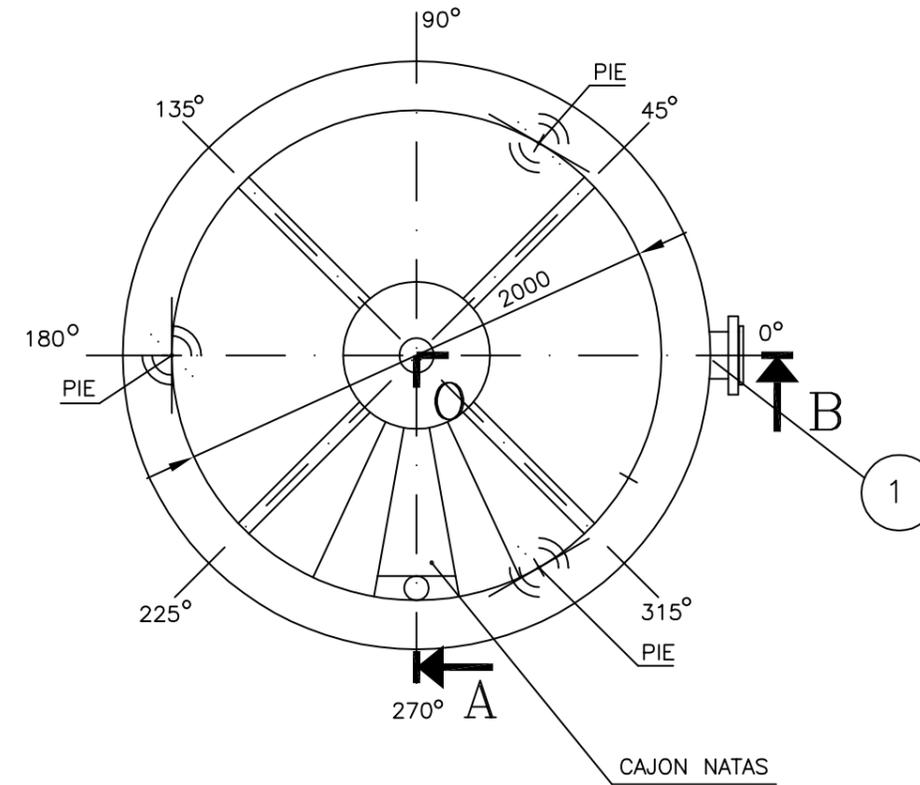
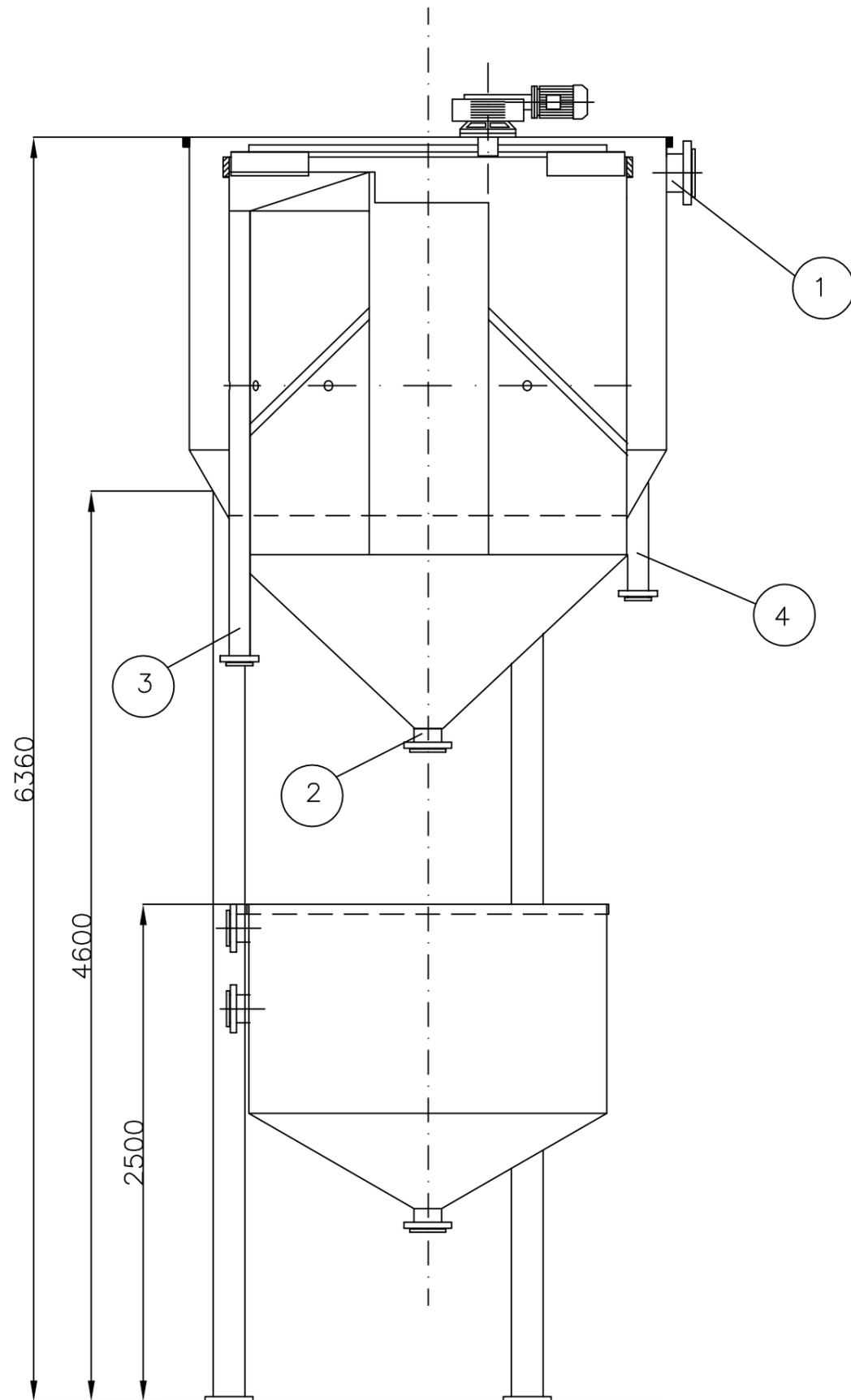


UNIONES SOLDADAS

ESPESOR 2 mm

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.1.S DECANTADOR 2.1.S	A. Lara Feria	1/10
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-07	Fecha Ene-09

CORTE AOB

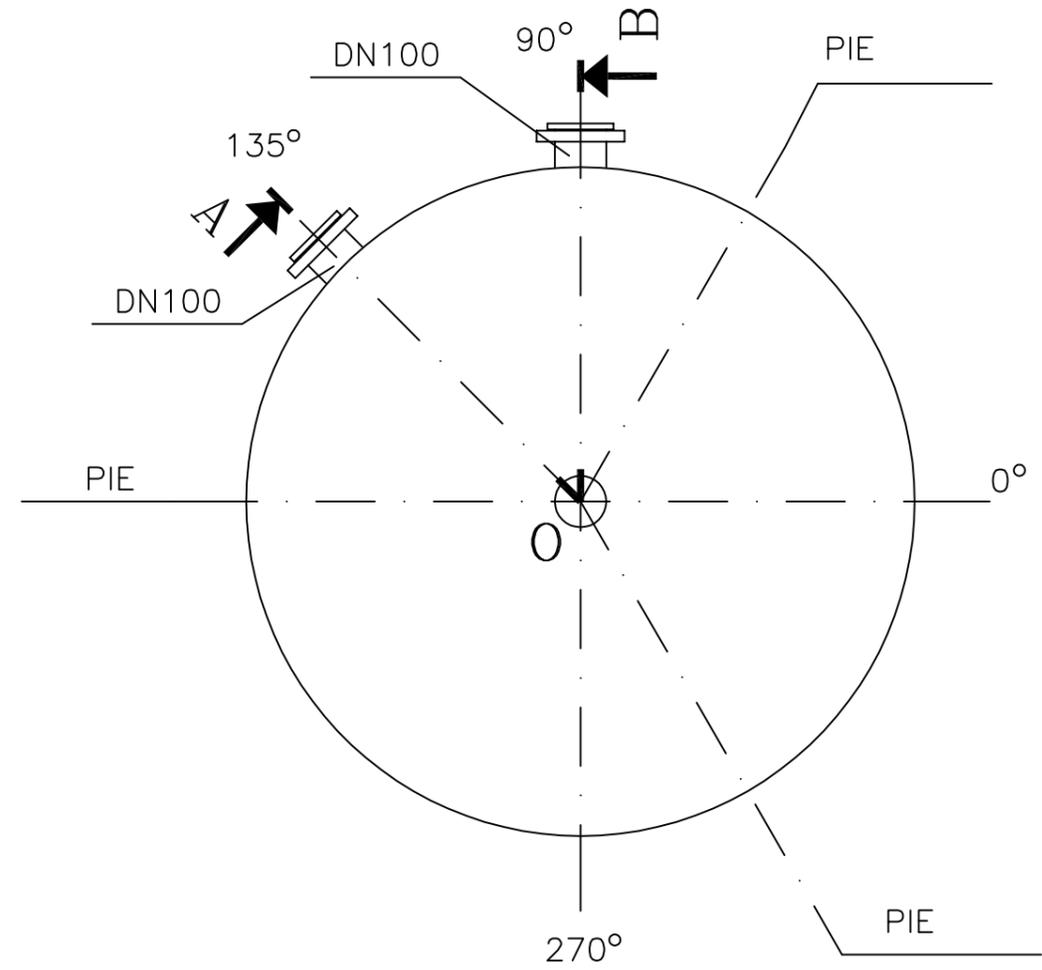
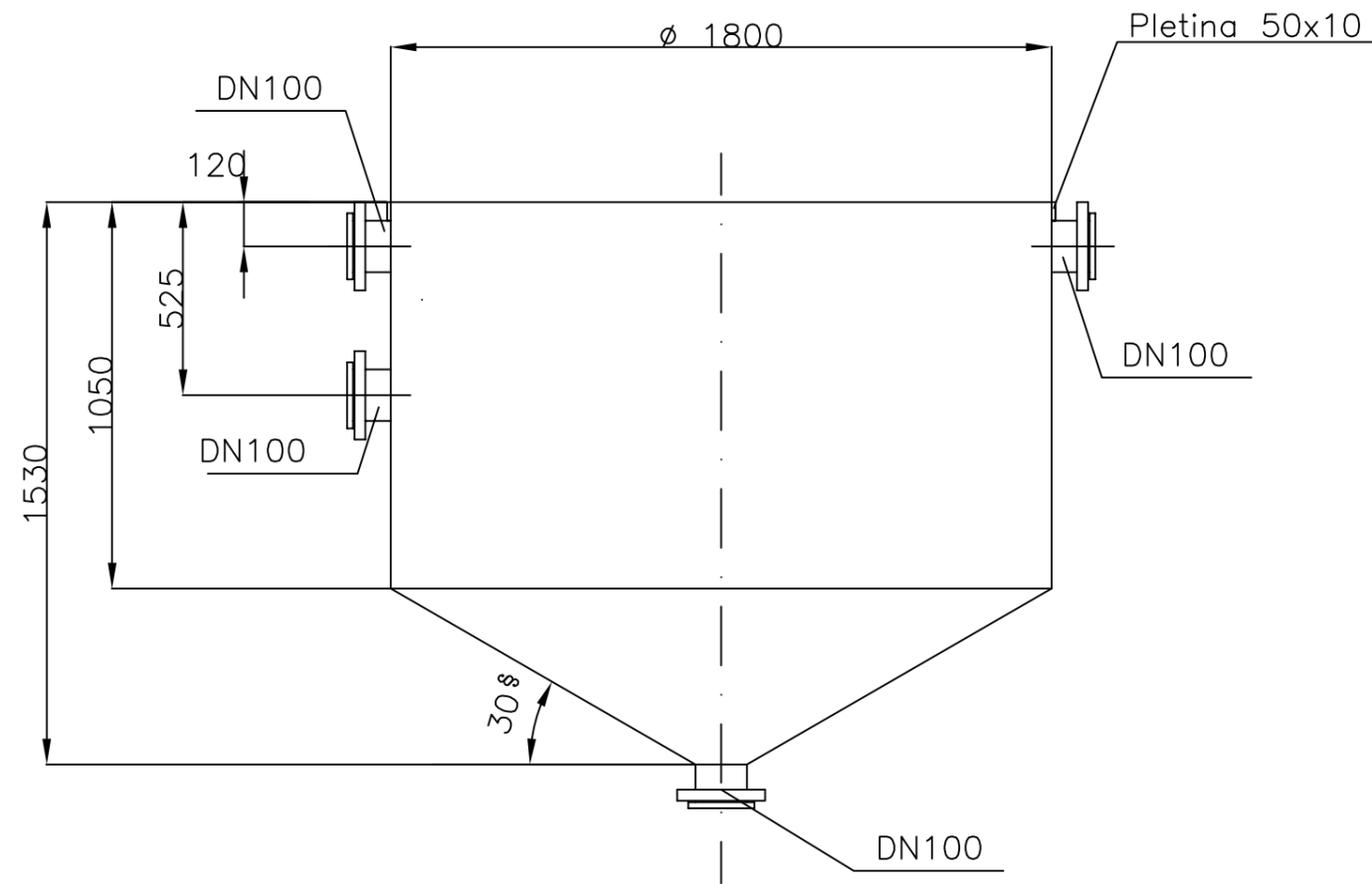


MATERIAL AISI 304

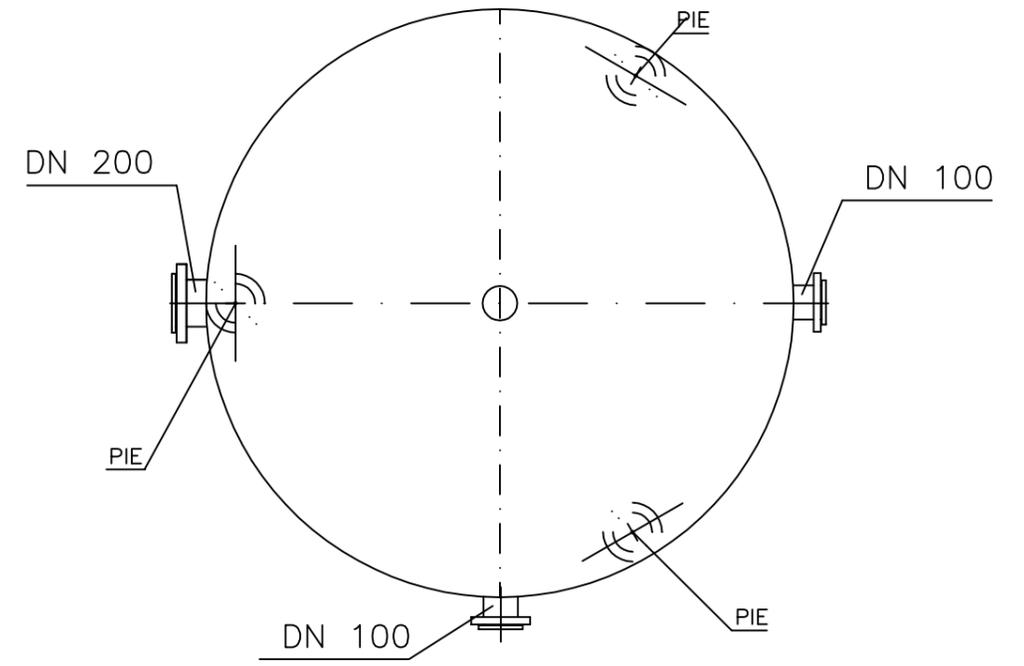
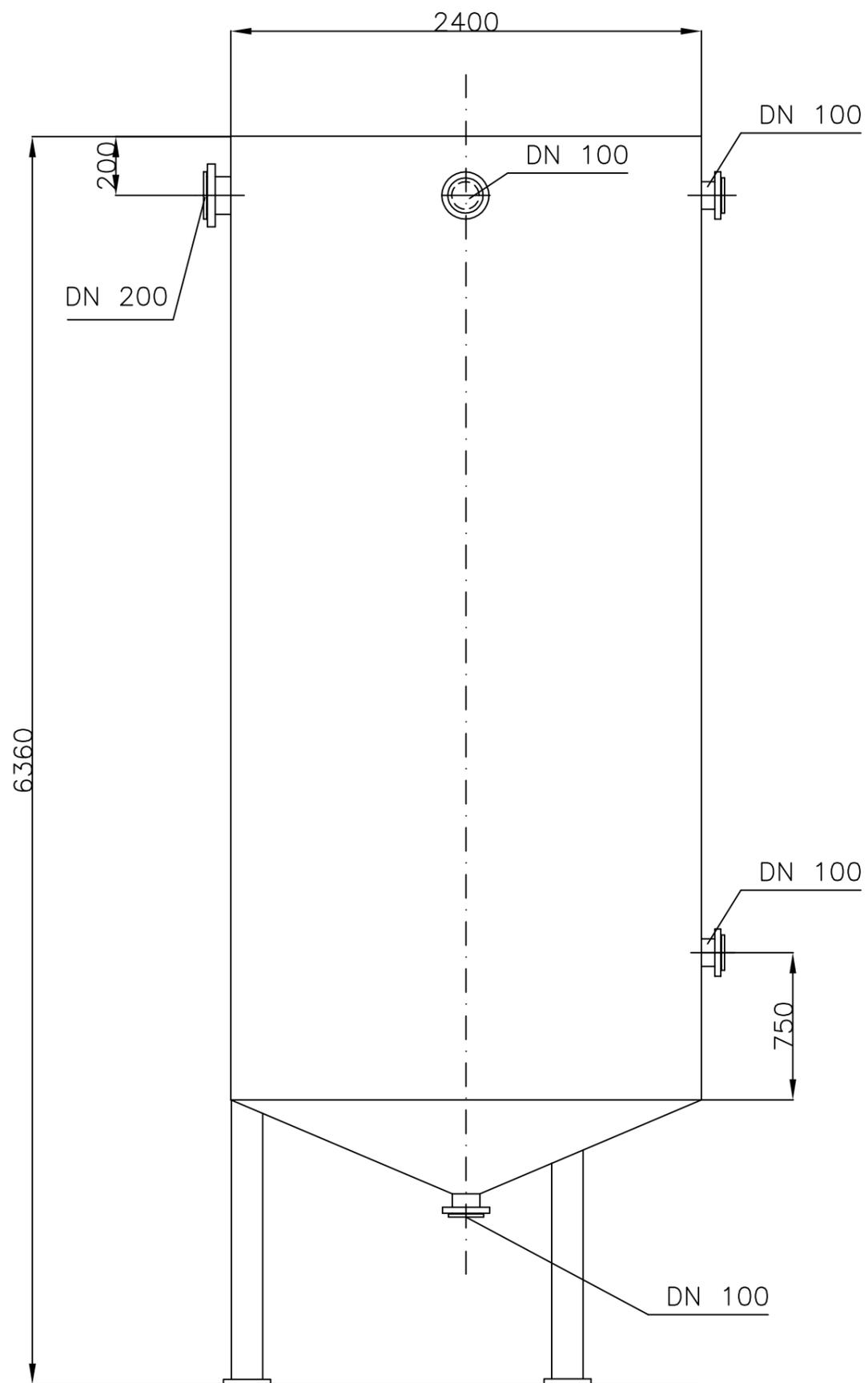
- 1 SALIDA LIQUIDO LIMPIO
- 2 SALIDA SOLIDOS
- 3 SALIDA NATAS
- 4 SALIDA LIMPIEZA

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.2	A. Lara Feria	1/30
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-08	Fecha Ene-09

CORTE AOB



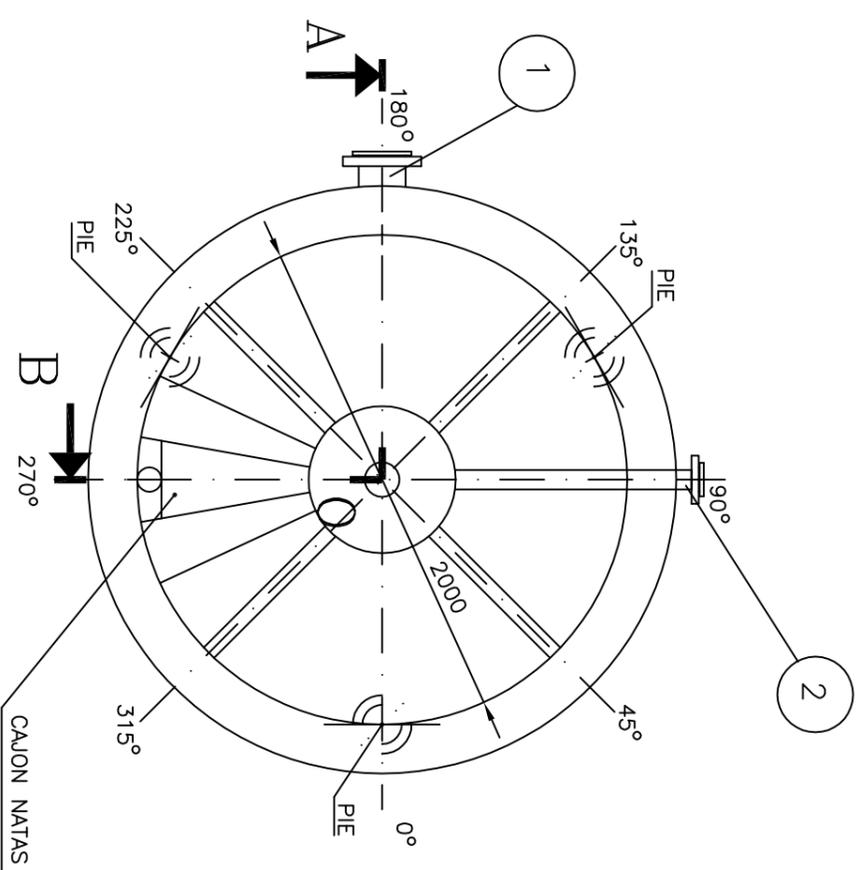
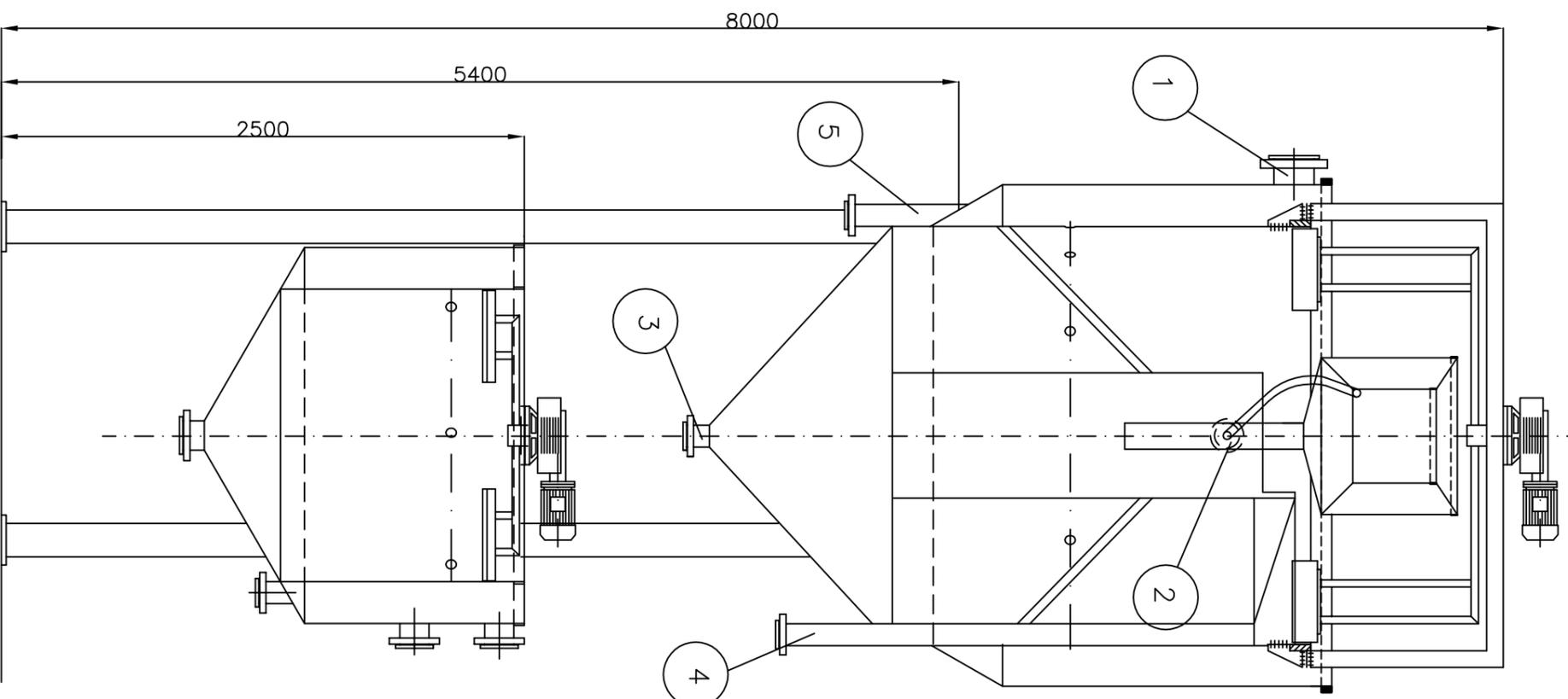
PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala 1/20
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 2.2.1	A. Lara Feria	
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-15	
			Fecha Ene-09



HAY QUE PREVEER PUNTOS DE APOYO CENTRALES PARA SONDAS DE NIVEL (2)
 SONDA DE MAXIMO Y DE MINIMO NIVEL

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 1.3	A. Lara Feria	1/30
		PLANO Nº	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-17	Fecha
			Ene-09

CORTE AOB



MATERIAL AISI 304

- 1 SALIDA LIQUIDO LIMPIO
- 2 ENTRADA ALPECHIN
- 3 SALIDA SOLIDOS
- 4 SALIDA NATAS
- 5 SALIDA LIMPIEZA

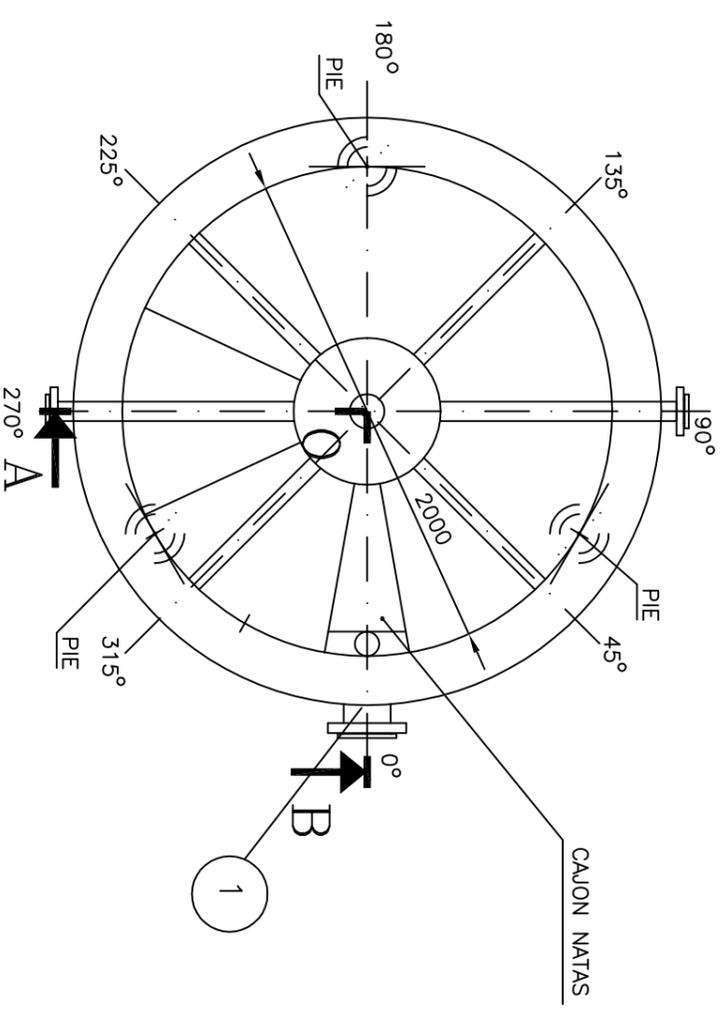
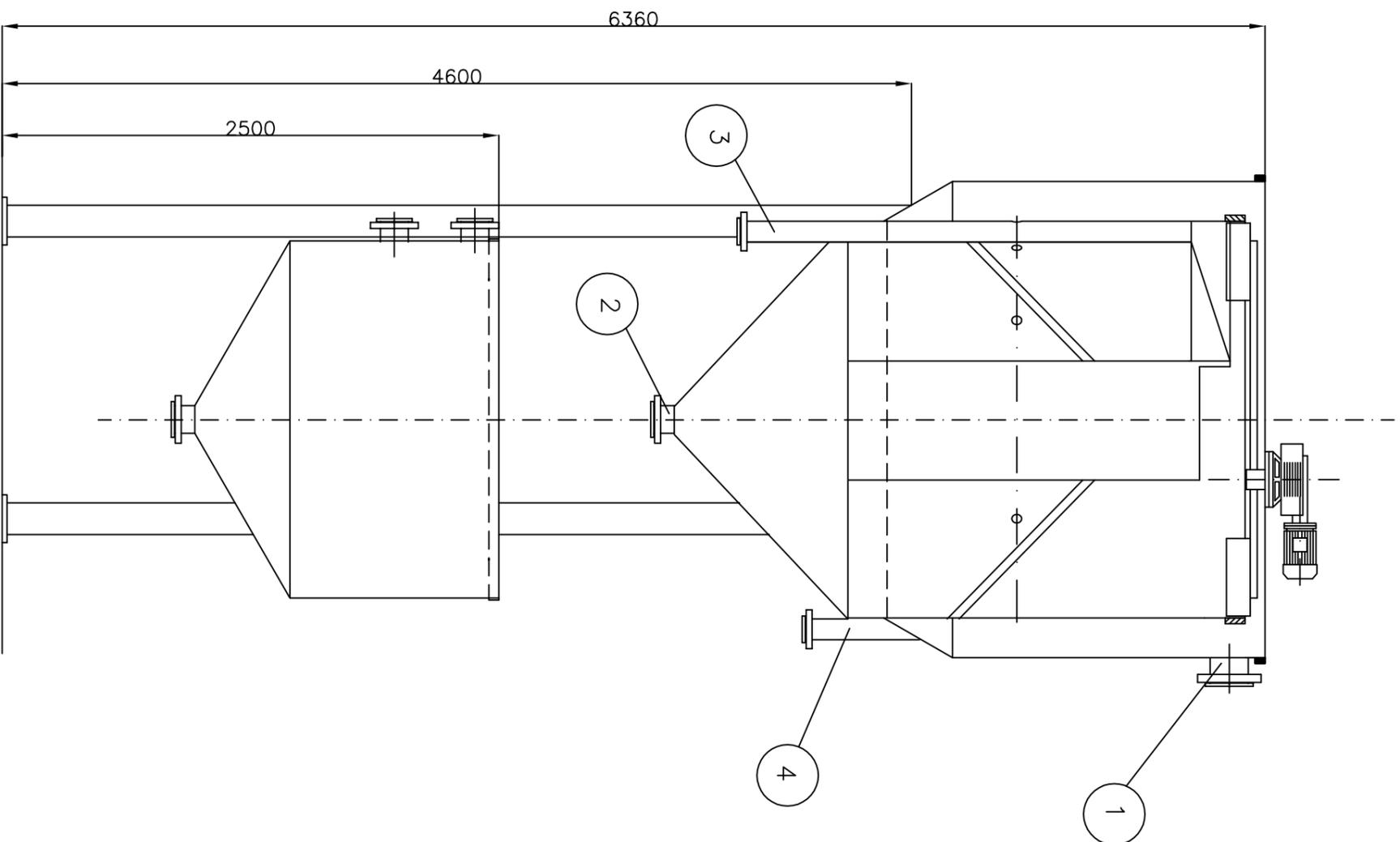
PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACION	DECANTADOR 3.1	A. Lara Feria	1/30

PLANO N°	Ref.
OLIV-BAE-DEC-19	Fecha
CARTIF	Ene-09



CARTIF

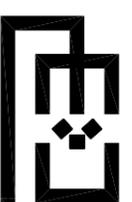
CORTE AOB



MATERIAL AISI 304

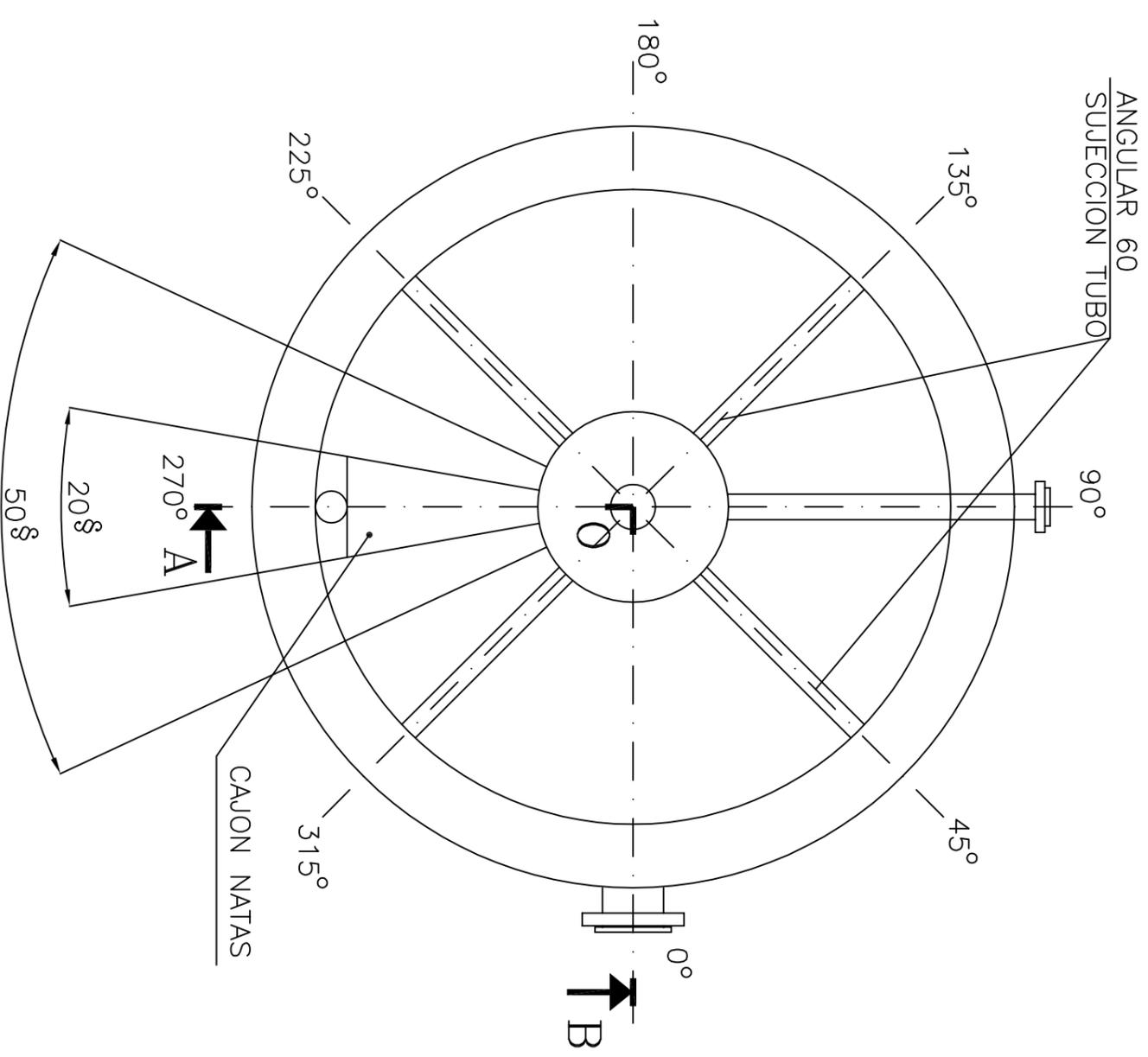
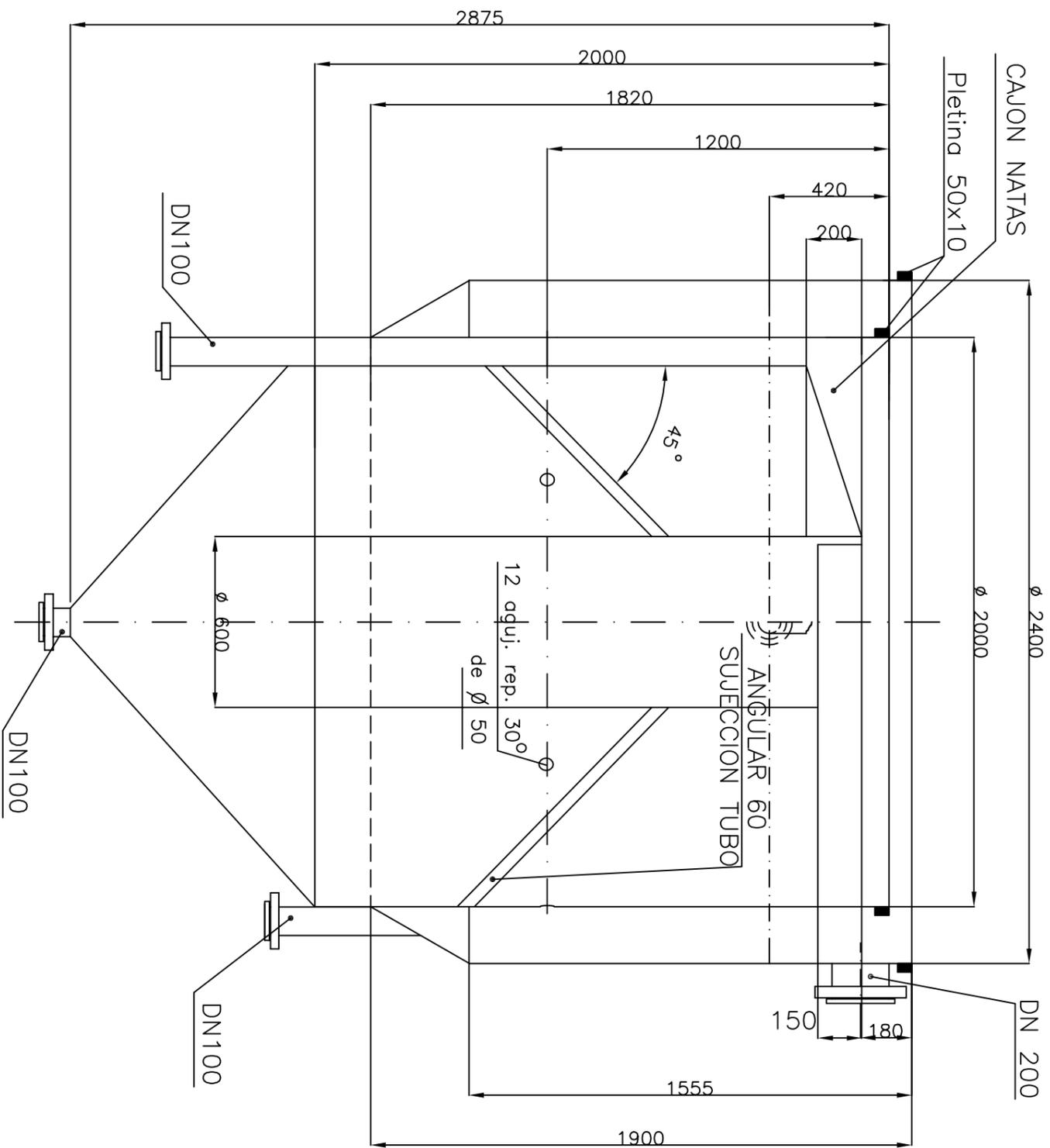
- 1 SALIDA LIQUIDO LIMPIO
- 2 SALIDA SOLIDOS
- 3 SALIDA NATAS
- 4 SALIDA LIMPIEZA

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACION	DECANTADOR 3.3	A. Lara Feria	1/30
		PLANO N ^o	Ref.
		OLIV-BAE-DEC-21	Fecha
			Ene-09



CARTIF

CORTE AOB



UNIONES SOLDADAS
 ESPESOR 3 mm
 MATERIAL AISI-304

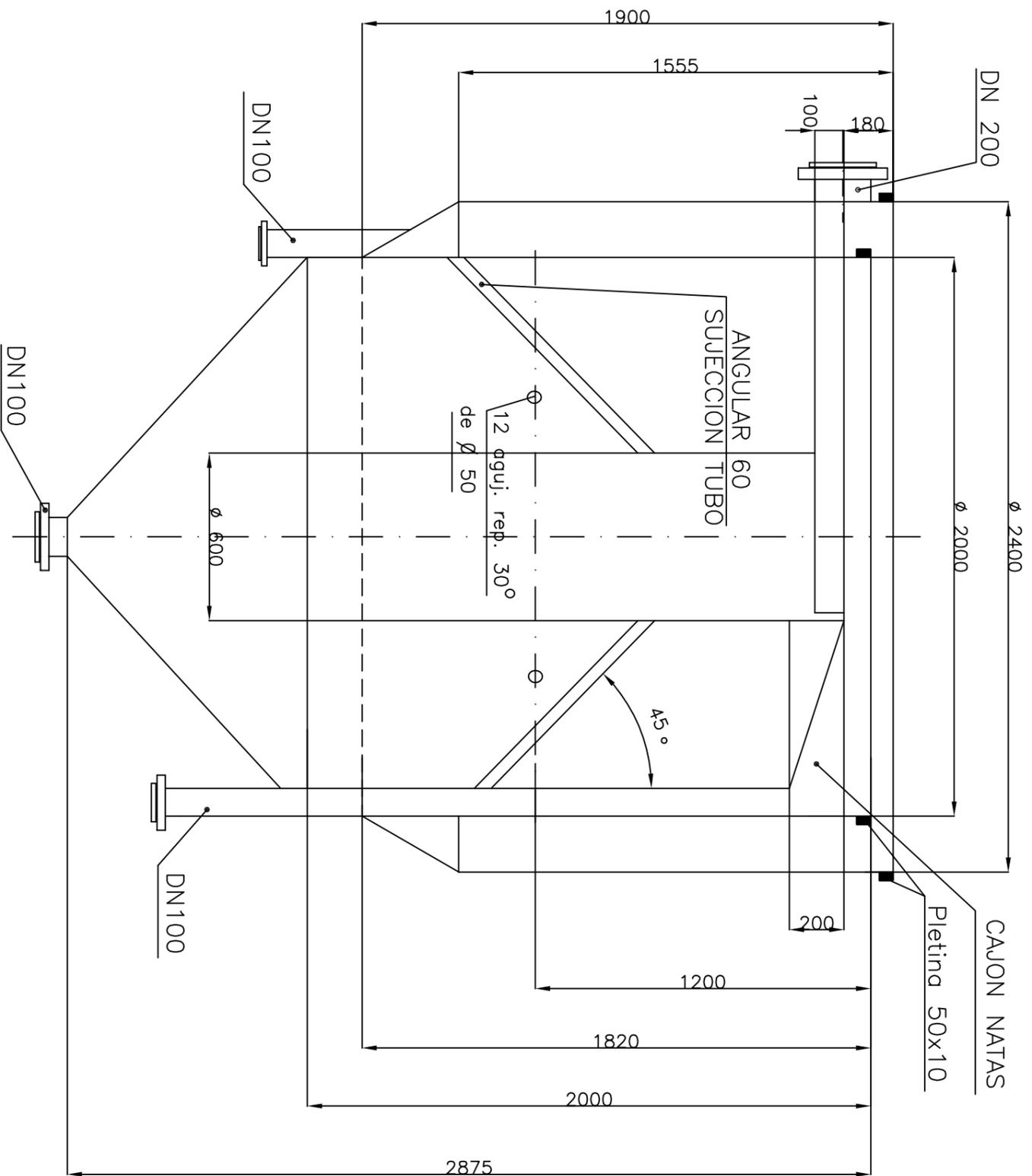
PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACION	DECANTADOR 3.1.S	A. Lara Feria	1/20

PLANO N°	Ref.
OLIV-BAE-DEC-22	Fecha Ene-09

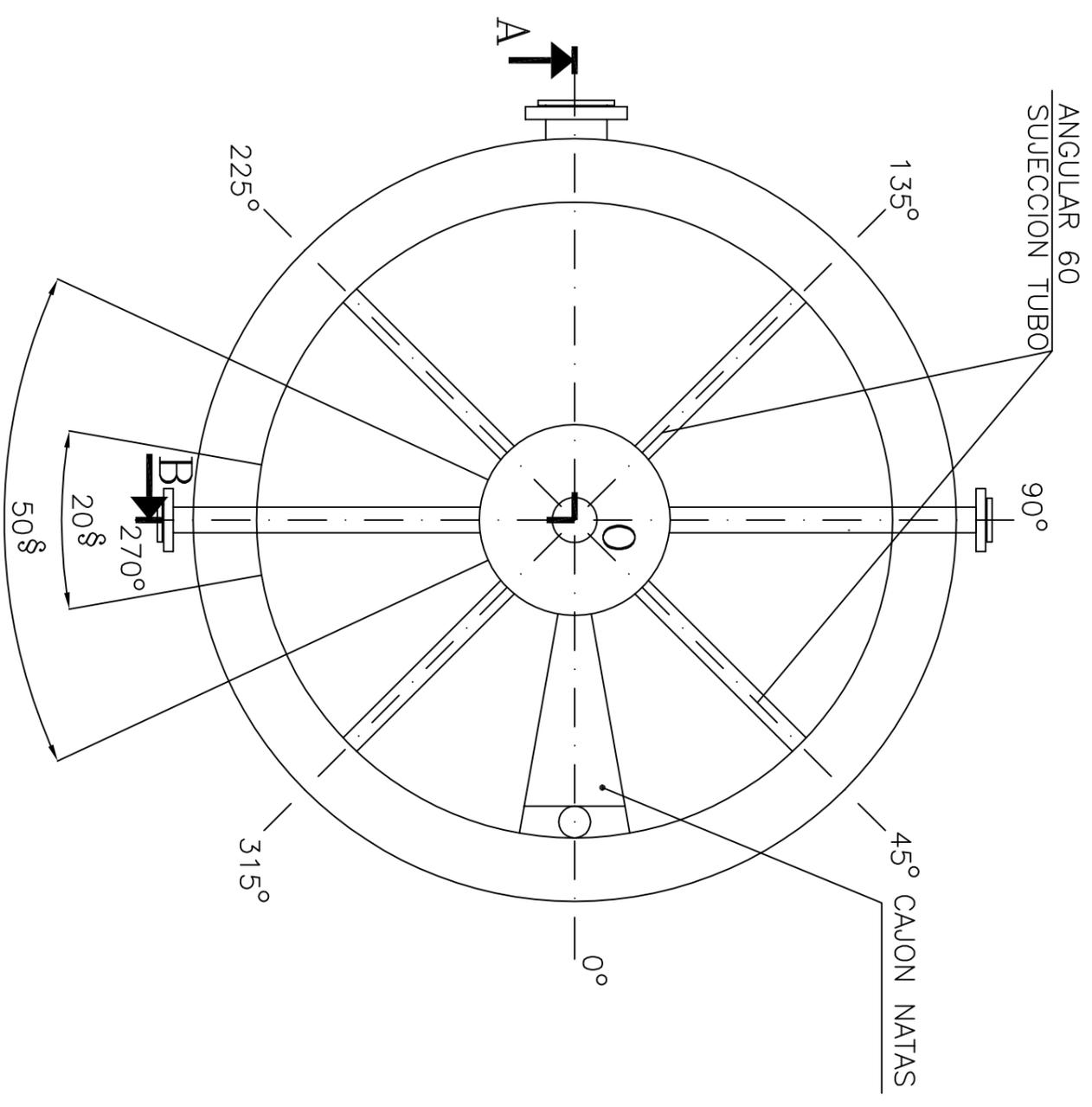


CARTIF

CORTE AOB



UNIONES SOLDADAS
 ESPESOR 3 mm
 MATERIAL AISI-304



PROYECTO
 PLANTA DE DEMOSTRACIÓN

DESIGNACION
 DECANTADOR 3.3.S

PROYECTADO
 A. Lara Feria

Escala
 1/20

PLANO N^o

OLIV-BAE-DEC-24

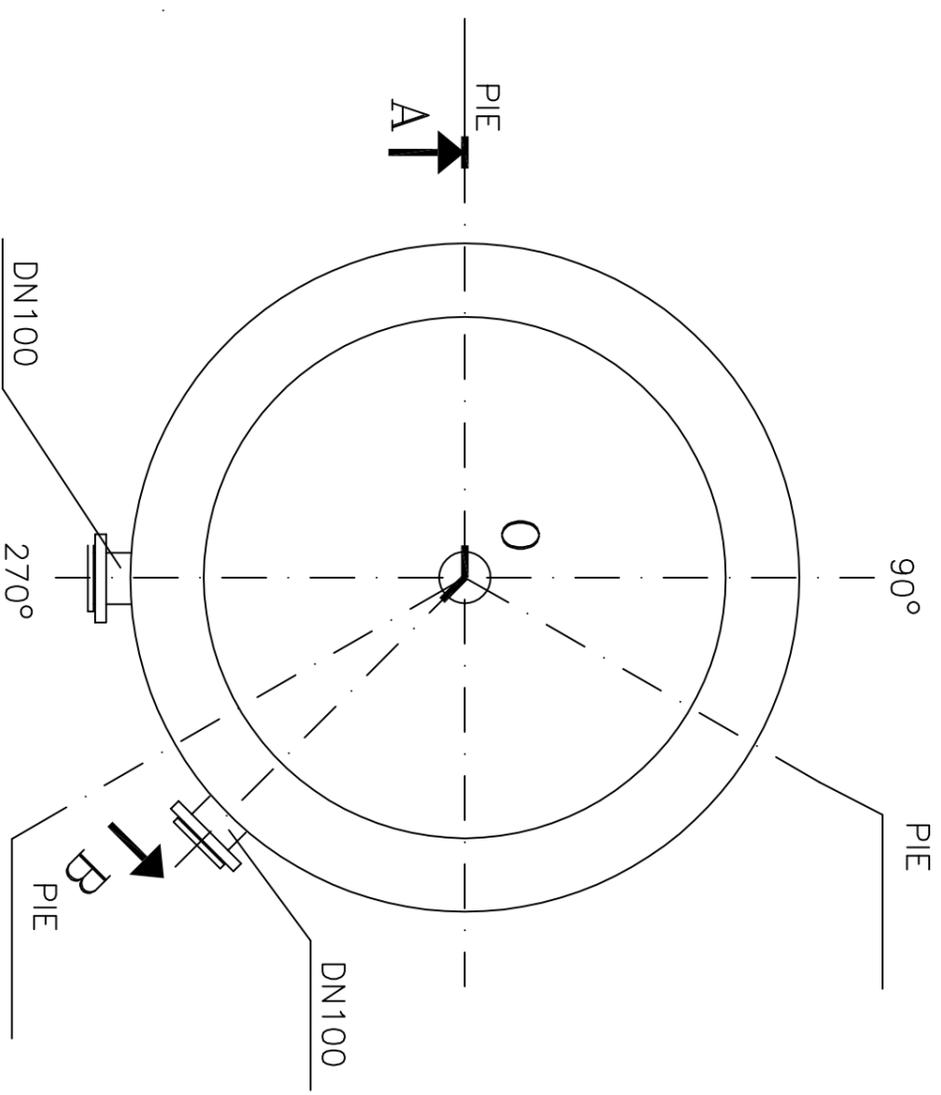
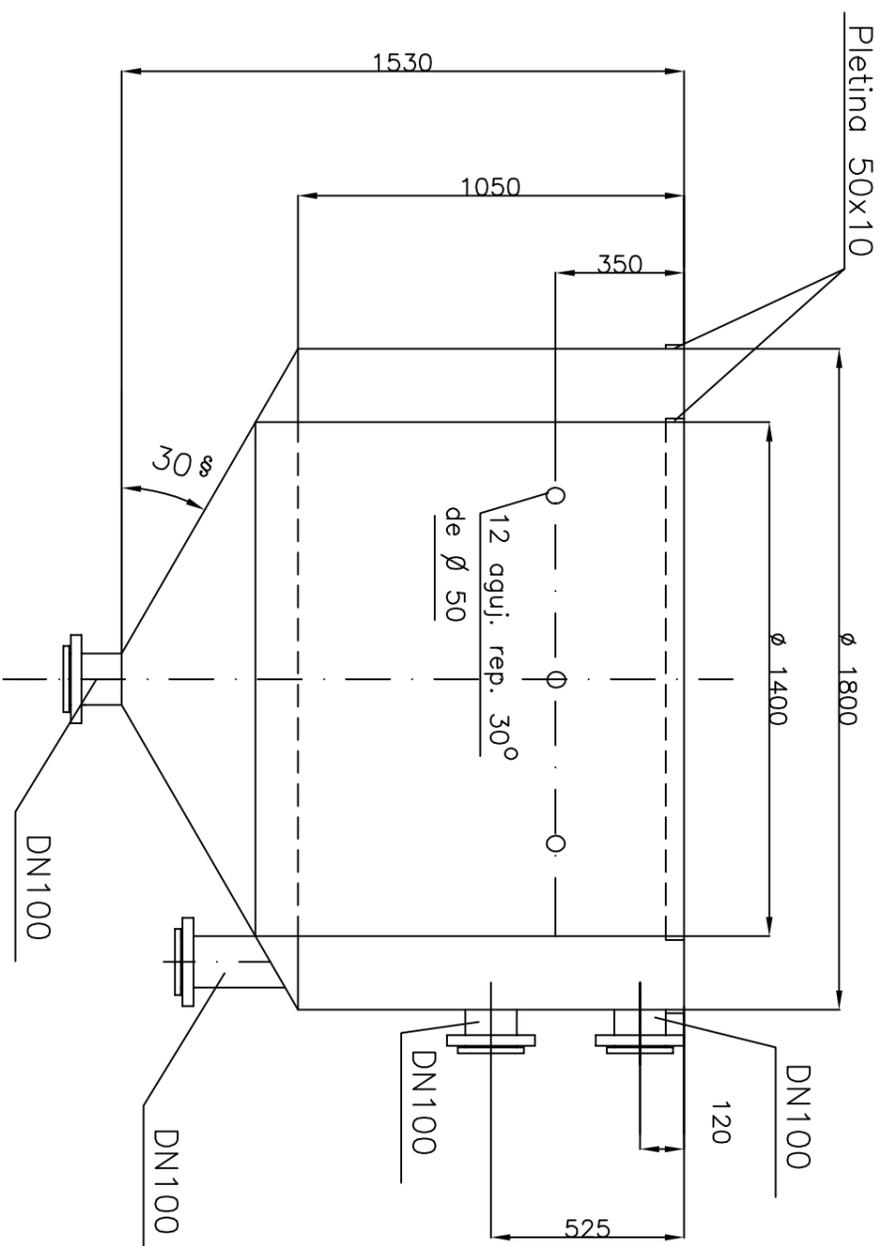
Ref.

Fecha
 Ene-09



CARTIF

CORTE AOB



UNIONES SOLDADAS

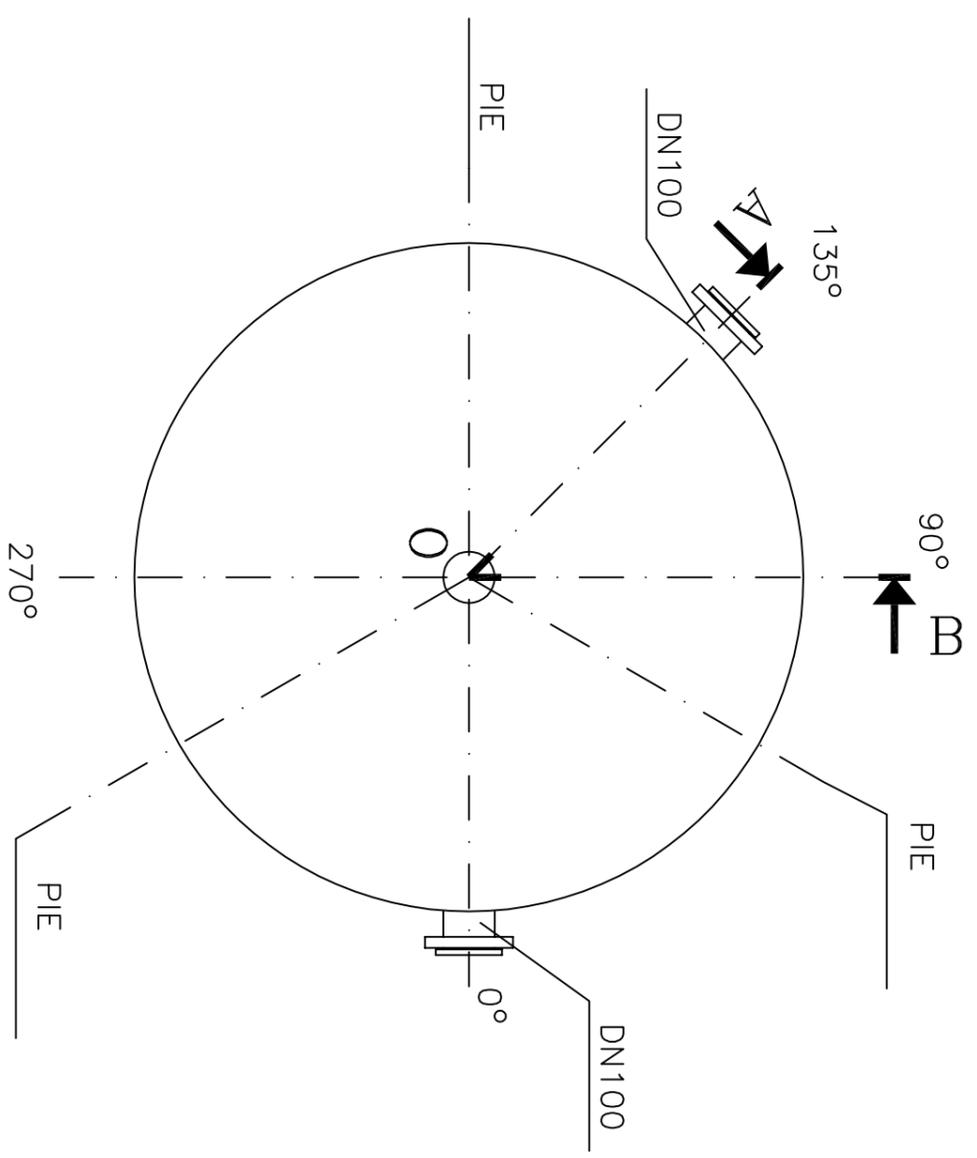
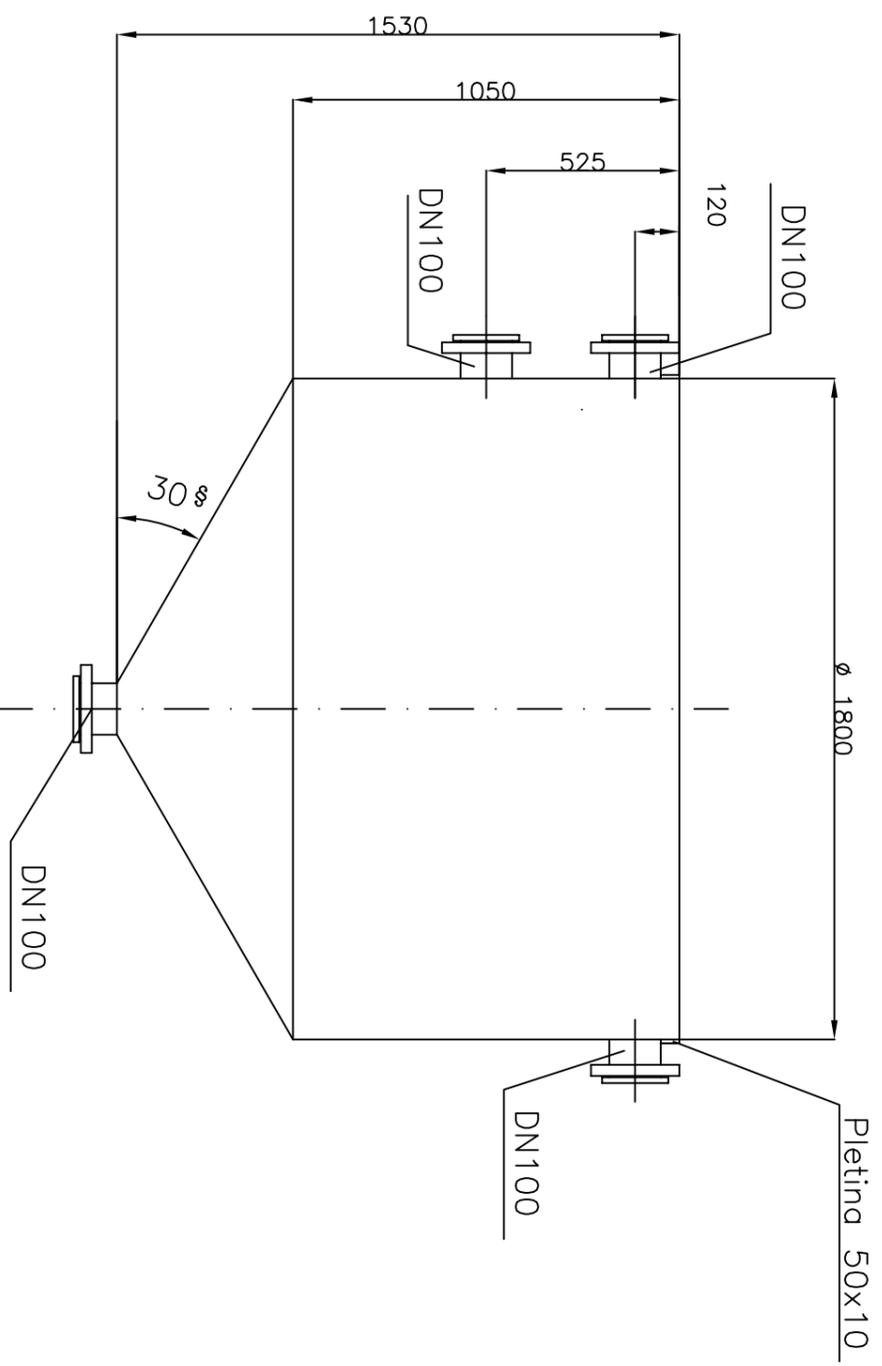
ESPESOR 3

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACION	DECANTADOR 3.2.1	A. Lara Feria	1/20

Ref.	Fecha
Ene-09	

PLANO N°	OLIV-BAE-DEC-26
CARTIF	

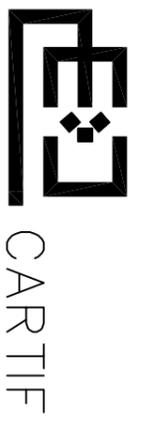
CORTE AOB

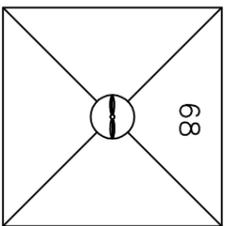
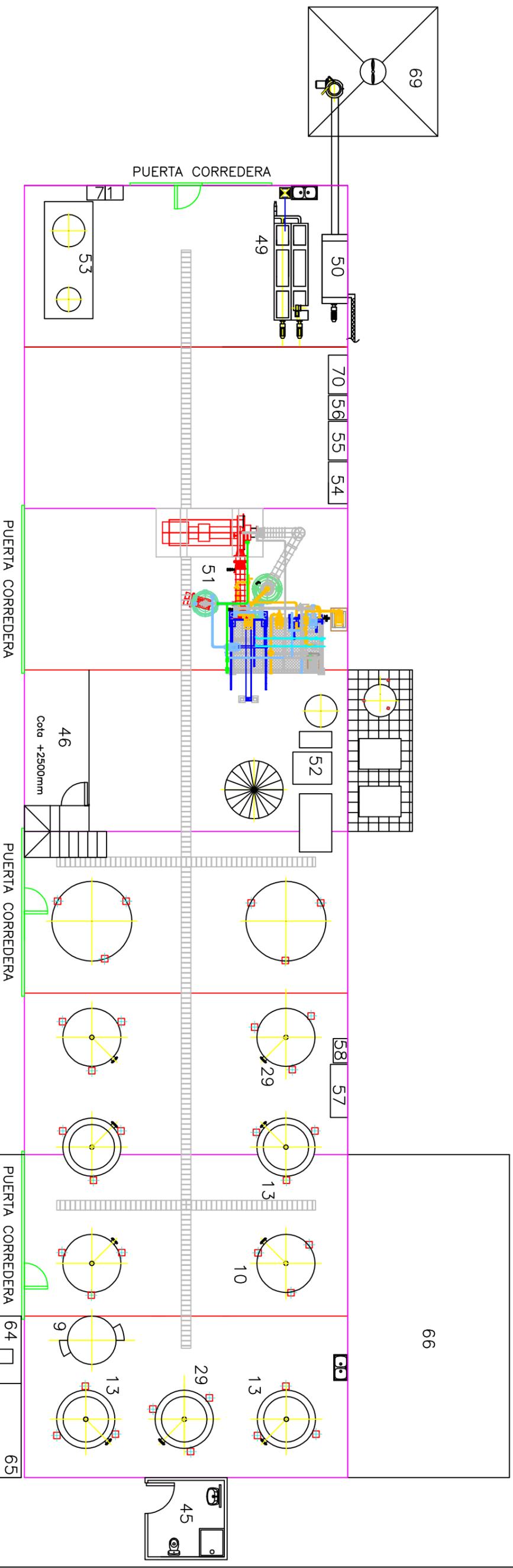


PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DECANTADOR 3.3.1	A. Lara Feria	1/20

Ref.	Fecha
Ref.	Ene-09

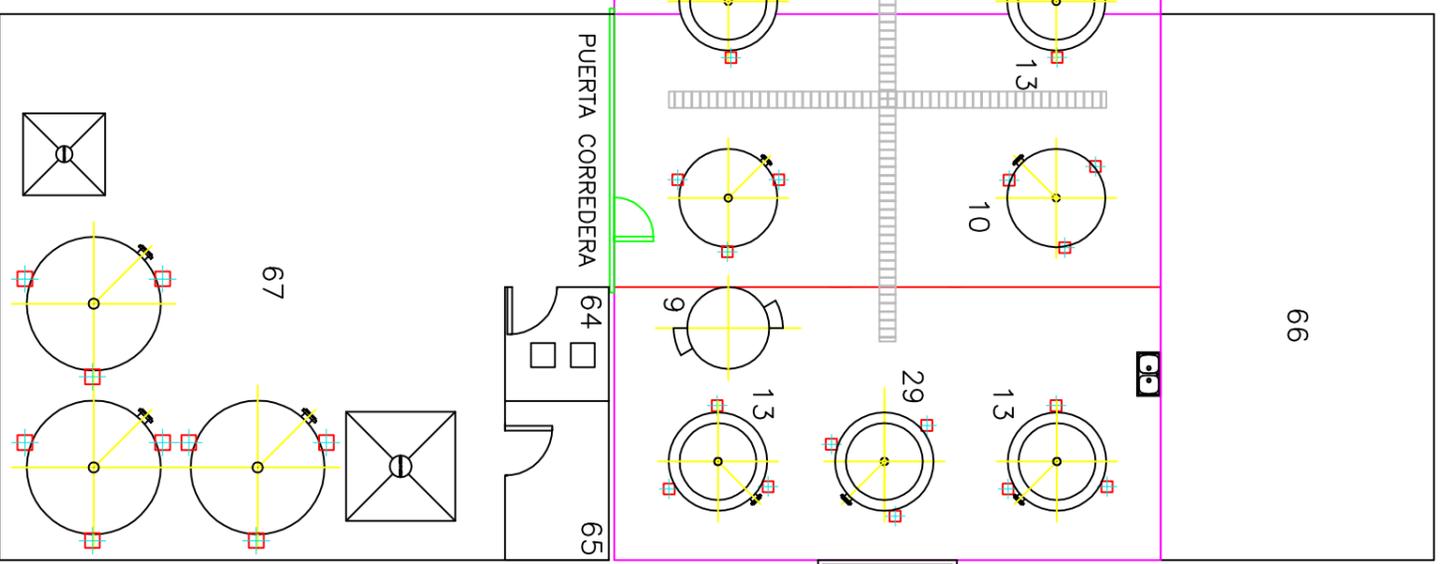
PLANO N ^o	OLIV-BAE-DEC-27
PLANO N ^o	OLIV-BAE-DEC-27



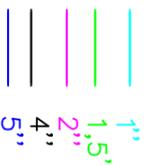
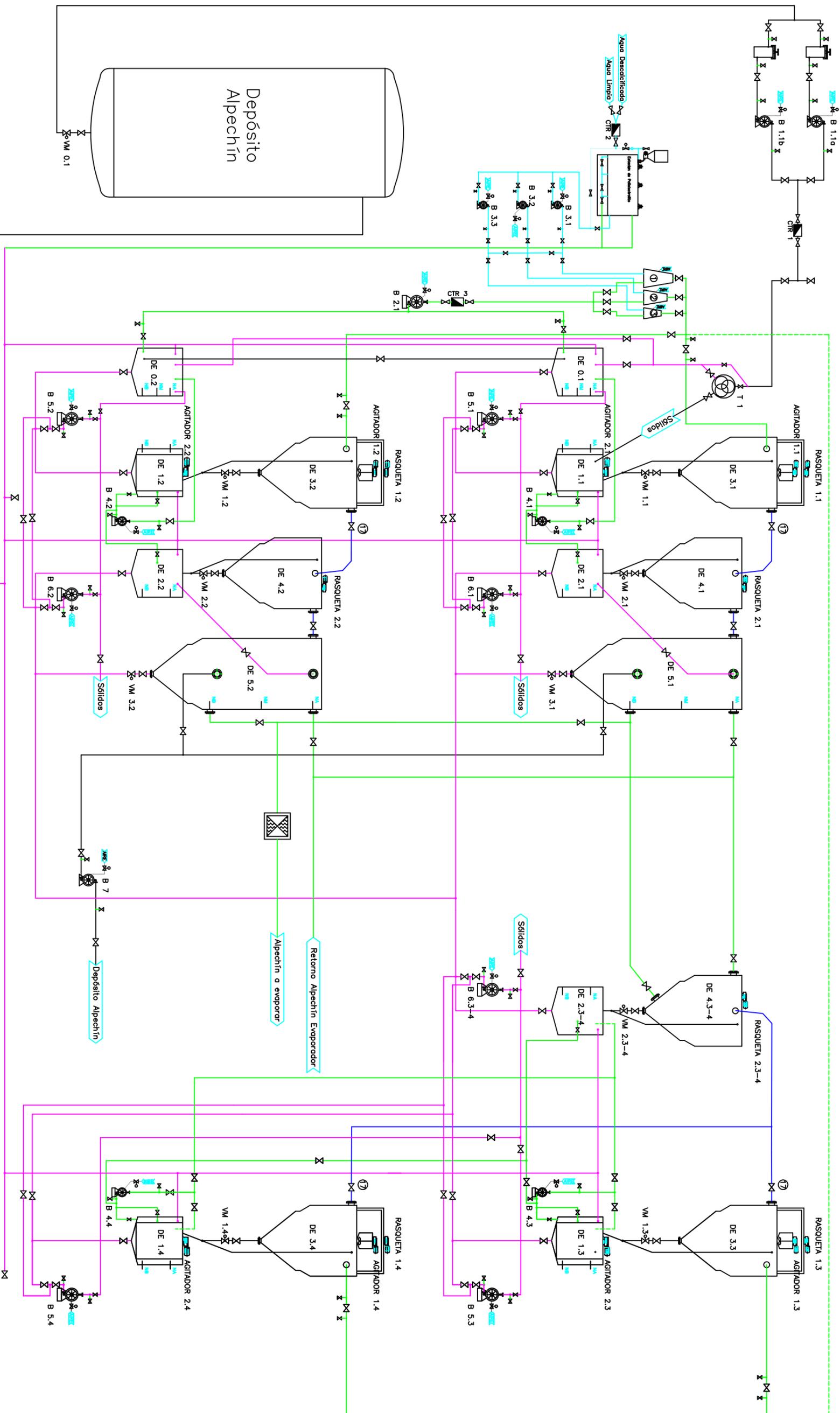


- LEYENDA MAQUINARIA**
- 0 EQUIPO DE PREPARACION POLIELECTROLITO
 - 9 TAMIZ
 - 10 DEPÓSITO ENTRADA
 - 12 DECANTADOR PRIMARIO PARTE SUPERIOR
 - 13 DECANTADOR PRIMARIO PARTE INFERIOR
 - 28 DECANTADOR SECUNDARIO PARTE SUPERIOR
 - 29 DECANTADOR SECUNDARIO PARTE INFERIOR
 - 30 DEPÓSITO FINAL SALIDA
 - 45 ASPOS
 - 46 SALA DE CONTROL
 - 48 BATIDORA
 - 49 DECANTADOR REPASO
 - 50 EVAPORADOR-CONCENTRADOR
 - 51 EQUIPOS DE COMPRESORES
 - 52 CENTRIFUGAS VERTICALES
 - 53 ARMARIO ELECTRICO EVAPORADOR
 - 54 ARMARIO POTENCIA GENERAL
 - 55 BATERIA CONDENSADORRES
 - 56 ARMARIO ELECTRICO DEPURACION
 - 57 ARMARIO AUTOMATIZACION DEPURACION
 - 58 DEPÓSITO CONCENTRADO
 - 60 DEPÓSITO COLMADO
 - 61 DEPÓSITO SOSA
 - 62 DEPÓSITO CONDENSADOS Y AGUA LLUVIA
 - 63 DEPÓSITO ALMACEN AGUA POTABLE
 - 64 SALA INVERSORES
 - 65 VESTIBULARIOS
 - 66 ALMACEN
 - 67 DEPÓSITO Y TOLVAS ABONOS
 - 68 TOLVA RECEPCION SOLIDOS ALPECHIN
 - 69 TOLVA SOLIDOS REPASO
 - 70 ARMARIO ELECTRICO CONTROL ALMAZARA
 - 71 ARMARIO ELECTRICO CONTROL CENTRIFUGAS VERTICALES
 - 72 TOLVA SOLIDOS REPASO

PLANTA INFERIOR



PLANTA DE DEMOSTRACION		PROYECTADO	Escdca
DISTRIBUCION EN PLANTA		Antonio LARA FERIA	1/100
TRATAMIENTO		PLANO N°2	Ref.
CARTIF		OLIV-BAE-DIST-03	Fecha
			12/02/09



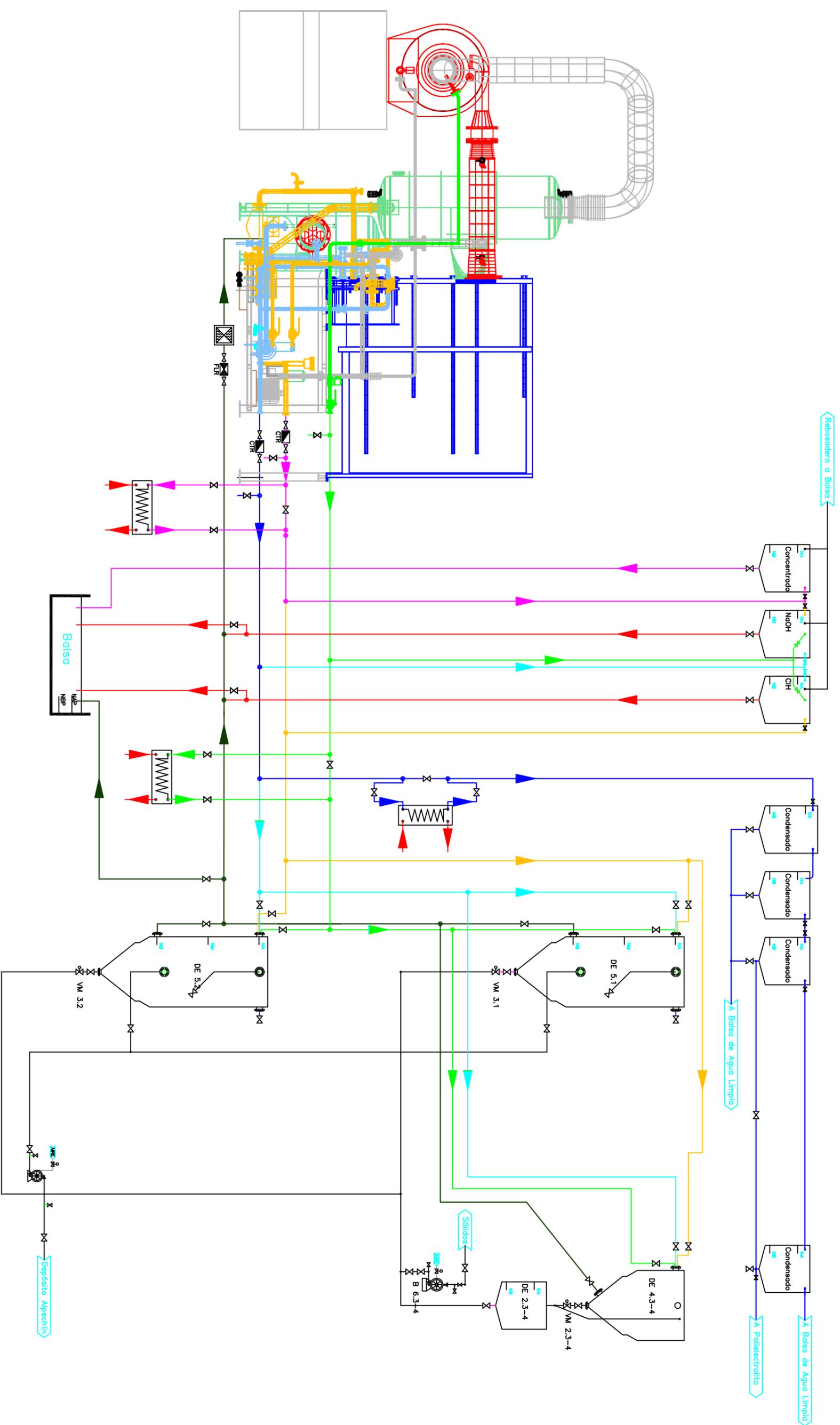
-  Mezclador Conico
-  Caudalímetro
-  Válvula Motorizada
-  Descañificador Magnético
-  Contador Agua

PROYECTO PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	PROYECTADO Antonio LARA FERIA
DESIGNACION ESQUEMA INSTALACION S.A.S	ESCOPIA



PLANO Nº
 OLIV-BAE-ESQ-01

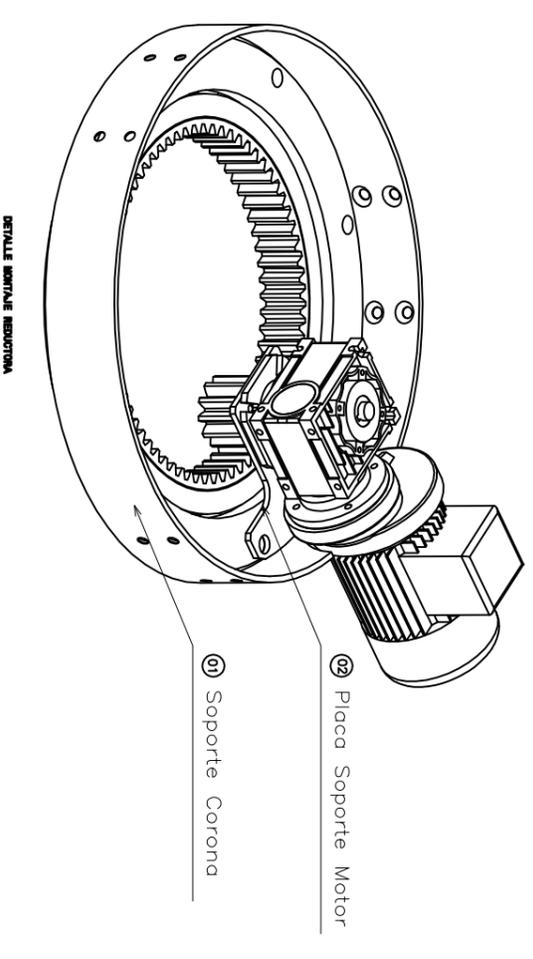
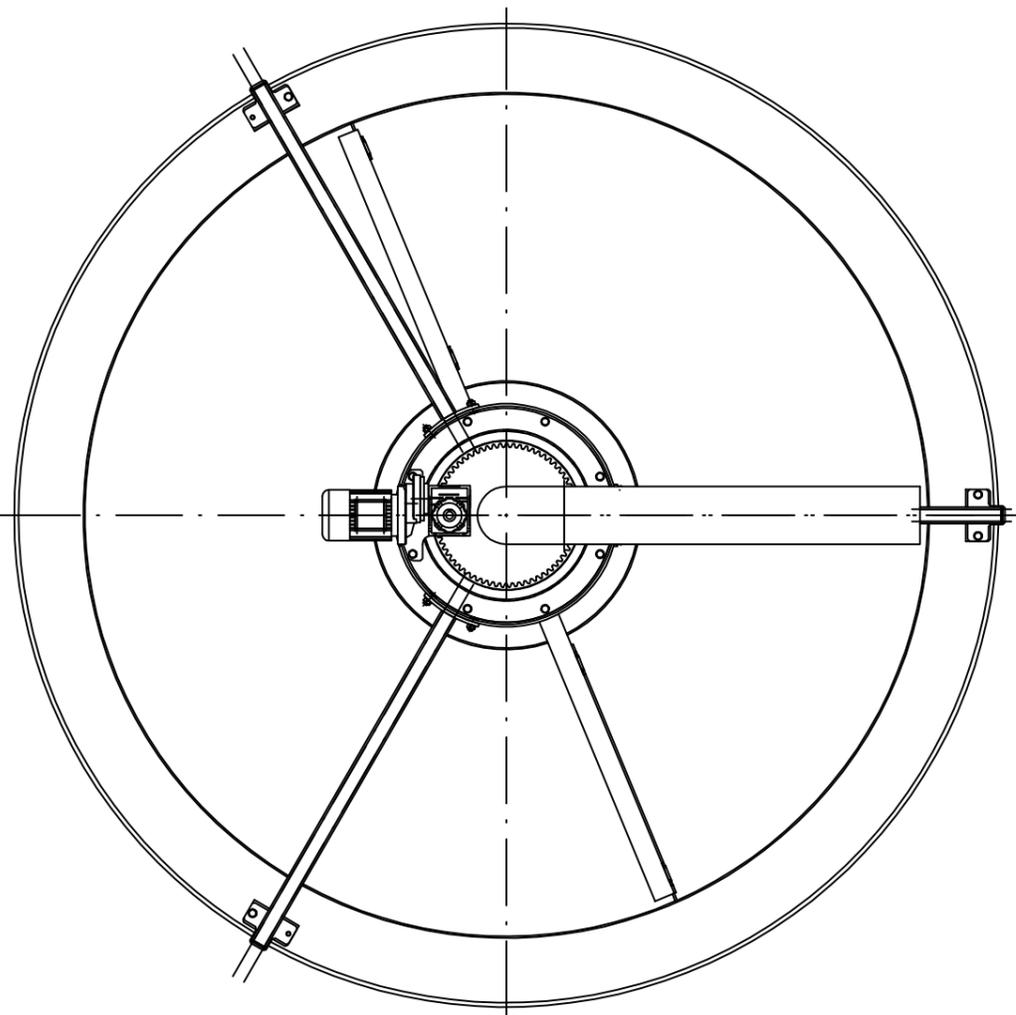
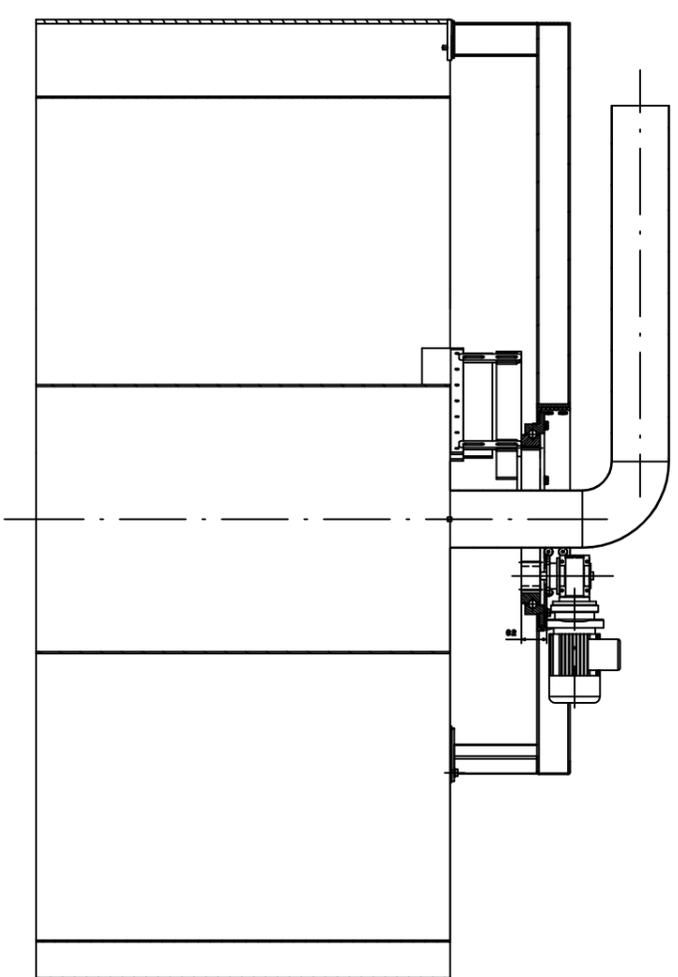
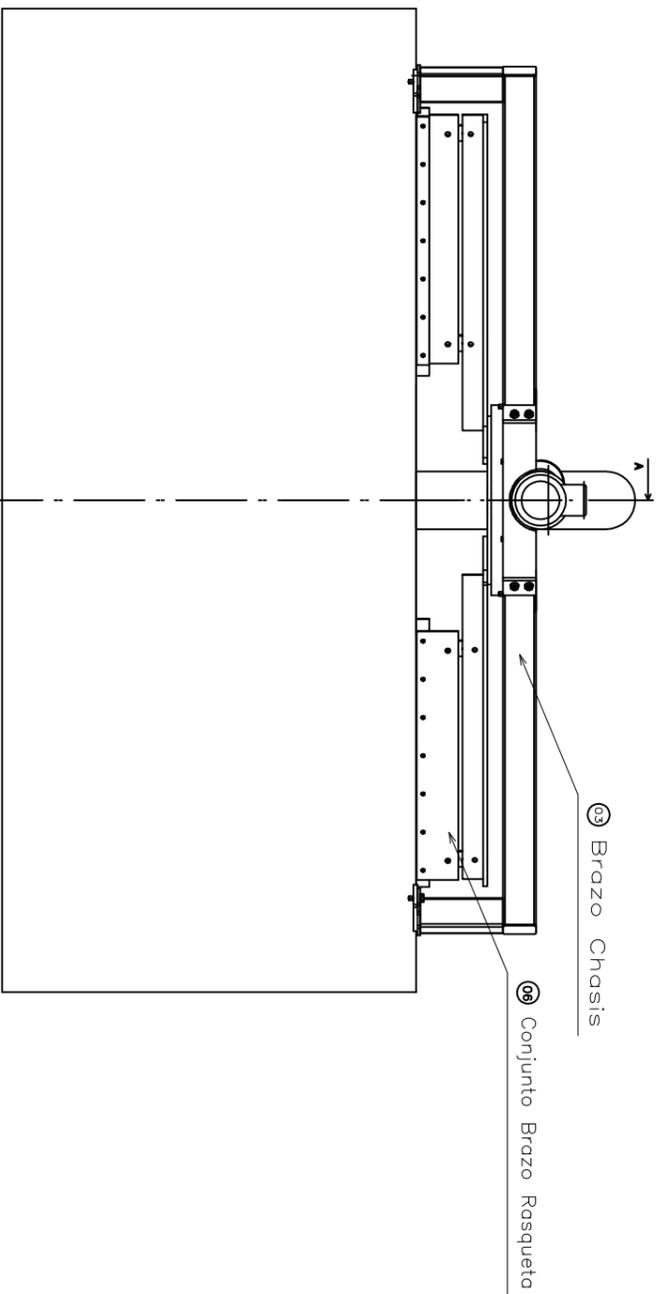
Ref.
 Fecha
 Ene-09



- Retorno limpieza Concentrado
- Retorno Limpieza Condensado
- Retorno Alpechín
- Retorno Alpechín Concentrado
- Alpechín a Evaporar
- Condensado

- Mezclador Conico
- Caudalímetro
- Válvula Motorizada
- Deseclicador Magnético
- Contador Agua
- Filtro

PROYECTO	PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	DESIGNACION	ESQUEMA INSTALACION EVAPORADOR	PROYECTADO	Antonio LARA FERIA	Ref.	
				PLANO Nº	OLIV-BAE-ESQ-02	Fecha	Ene-09

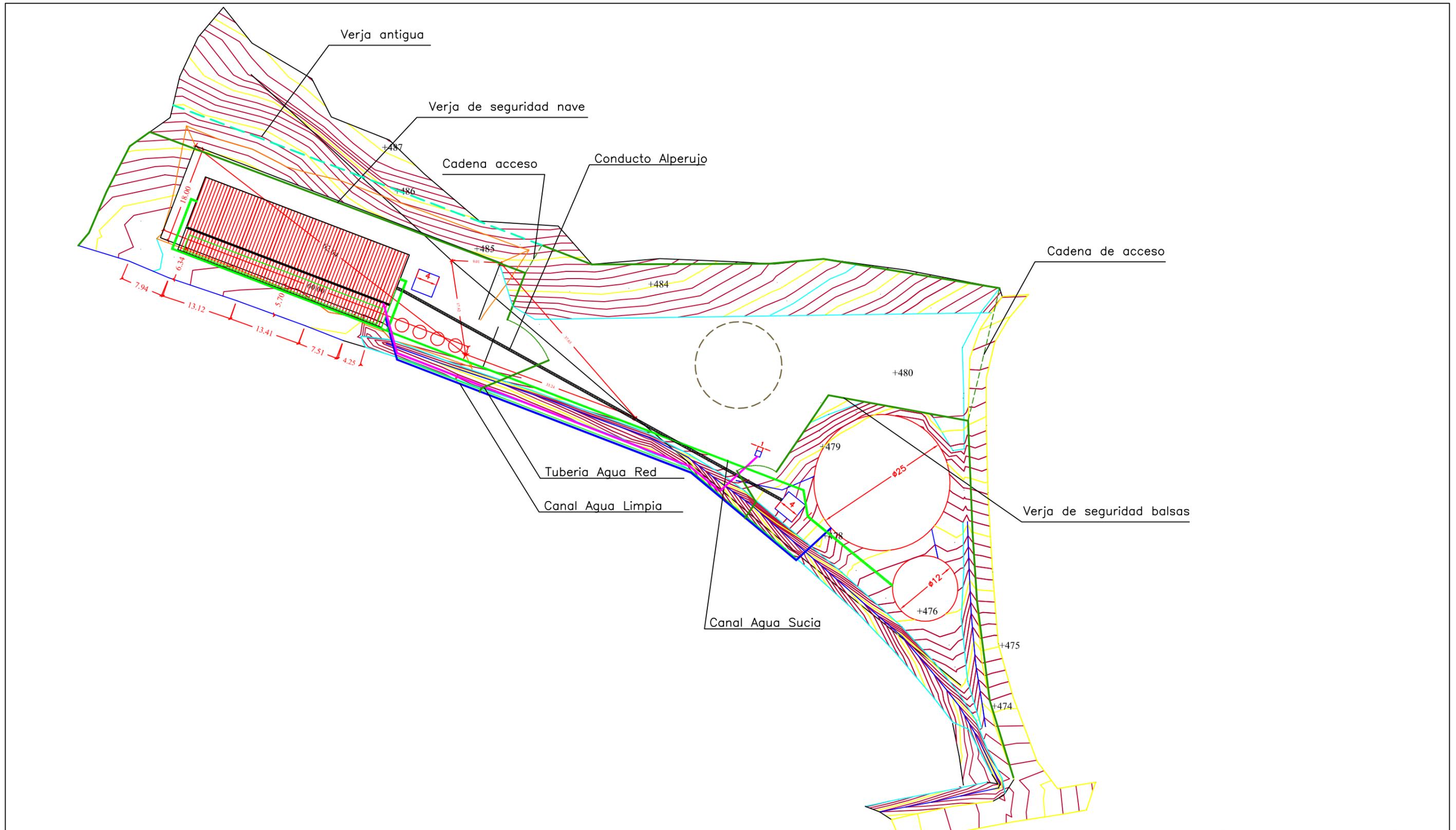


PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACION	MONTAJE RASQUETA	A. Lara Feria	

PLANO N ^o	Ref.
OLIV-BAE-RASQ-01	Fecha
	Feb-09



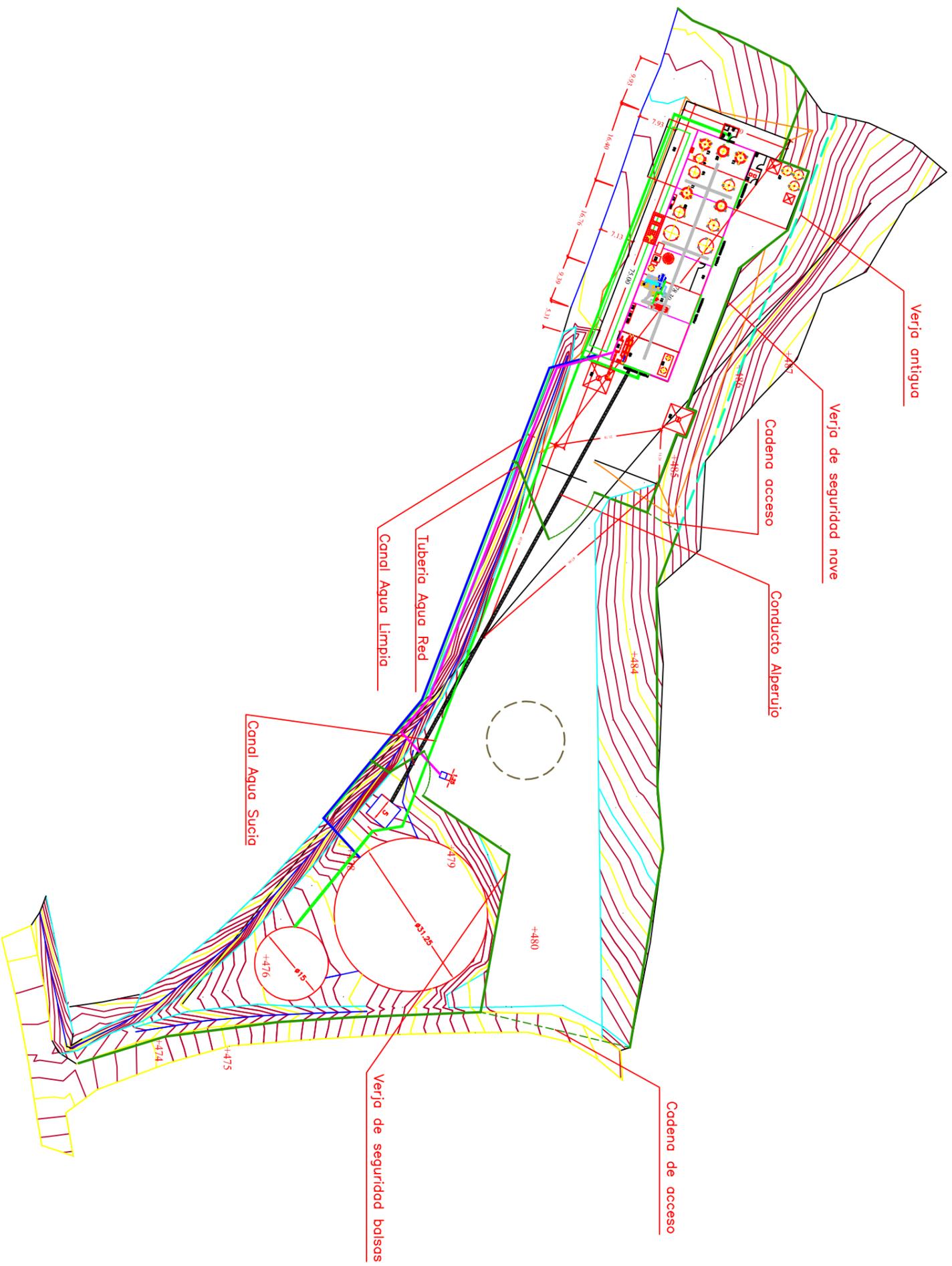
CARTIF



MODIFICACIÓN	3	
FECHA	23-08-07	

PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	A. Lara Feria	15/10.000

	PLANO N ^o	Ref.
	OLIV-BAE-TOP-01	Fecha Abr-07



PROYECTO	DESIGNACION	PROYECTADO	Escala
PLANTA DE DEMOSTRACIÓN	LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO Y EDIFICIOS	A. Lara Feria	1/1000

PLANO N°	Ref.
OLIV-BAE-TOP-02	Fecha Feb-09



CARTIF